

НОВОЕ В ЭЛЕКТРОМУЗЫКАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТАХ

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 616

И. Д. СИМОНОВ

НОВОЕ В ЭЛЕКТРОМУЗЫКАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТАХ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1966 ЛЕНИНГРАД

УДК 681.826
С 37

Дается описание ряда новых схем отдельных узлов электромузыкальных инструментов. Особое внимание уделяется устройствам, обеспечивающим получение наибольшей выразительности звучания. Рассматриваются некоторые возможности повышения эффективности исполнительской техники.

Брошюра рассчитана на радиолюбителей, занимающихся конструированием электромузыкальных инструментов.

Симонов Игорь Дмитриевич
Новое в электромузыкальных инструментах. М.—Л., изд-во „Энергия", 1966.
48 стр. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 616)

3-4-5
381-66

Редактор *Ф. И. Тарасов* Техн. редактор *Н. И. Бобко*

Обложка художника *А. М. Кувшинникова*

Сдано в набор 18/V 1966 г. Подписано к печати 16/VIII 1966 г.
Т-11080 Бумага типографская № 3 84×108 1/32 Печ. л. 2,52 Уч.-изд. л. 3,39
Тираж 25 000 экз. Цена 14 коп. Зак. 2440

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Шлюзовая наб., 10.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие музыкальной культуры неизбежно вызывало и вызывает потребность в совершенствовании ее материальной базы — музыкальных инструментов. Все инструменты, вошедшие в золотой фонд классической музыки, были построены на механико-акустической базе. В качестве вибраторов в них применялись струны (в смычковых и щипковых инструментах), язычки (в деревянных духовых инструментах), столбы воздуха (в медных духовых инструментах), пластины и мембраны (в ударных инструментах). Музыкальная практика знает выдающиеся примеры соединения результатов труда виднейших мастеров-конструкторов, с одной стороны, с деятельностью гениальных композиторов и исполнителей, с другой. Достаточно вспомнить имена Страдивари и Паганини, чтобы получить представление о том, как итоги работы ряда поколений музыкантов были с исключительным успехом реализованы в концертной практике.

История других инструментов современного оркестра насыщена такими же полноценными примерами творческого соединения работы мастеров и исполнителей, связь между которыми, как правило, осуществлялась композитором.

Всякие средства, в том числе и механико-акустические, имеют свои границы. Можно сказать, что уже к концу девятнадцатого столетия эти средства себя в какой-то мере исчерпали. Саксофон, появившийся в середине прошлого столетия, челеста, впервые примененная в партитуре «Щелкунчика» П. И. Чайковского, и вибрафон — вот последние новинки в сфере оркестровых инструментов.

Новые времена — новая техника. Уже на рубеже девятнадцатого и двадцатого столетий Т. Кахилл (США) пытался без электронных ламп и усилителей построить электрический орга́н. Изобретатель трехэлектродной лампы Ли де Форест (США) взял патент на электронный инструмент с ламповым генератором звуковой частоты. Были и другие попытки. Но на одних инструментах нельзя было играть, а другие нельзя было слушать.

Первое концертное выступление на электронном музыкальном инструменте осуществил в 1921 г. русский инженер Л. С. Термен, получивший поддержку В. И. Ленина.

Нельзя не заметить, что все наши изобретатели первых электромузыкальных инструментов (экводин, эмиритон, компанола) стремились поставить свою работу на службу серьезному музыкальному искусству. До Великой Отечественной войны по радио звучали

произведения классической музыки, исполняемые на новых инструментах. В последнее время за рубежом и, к сожалению, у нас стали идти по линии наименьшего сопротивления, используя эффектные новые средства для маскировки унылого и монотонного исполнения произведений легкой музыки.

Это, конечно, явление временное. Столбовая дорога электромузыки лежит в области настоящего профессионального искусства. Пройдет время и в эту область войдут свои паганини и страдивари, что, естественно, немыслимо без создания настоящей исполнительской школы. Для подлинного, вдохновенного исполнения нужны современные инструменты, превосходящие по своим выразительным возможностям такие замечательные инструменты, как рояль, скрипка и орга́н. Надо думать, что бурное развитие электроники явится хорошей базой для достижения этой благородной цели.

Нельзя смешивать электронные музыкальные инструменты с тем, что сейчас на западе называют электронной музыкой. Сходный термин — электромузыка был принят и у нас. Электромузыкальные инструменты должны быть одним из средств исполнения реалистической музыки. Можно говорить о том, что электромузыка — это музыка, специально написанная композиторами для электромузыкальных инструментов. Но под термином «электронная музыка» сейчас понимают музыку, как правило, формалистическую и передаваемую от композитора к слушателю не через исполнителя, а с помощью средств звукозаписи. На смену процессу исполнения со всей его эмоциональностью и артистизмом здесь приходит холодный и рассудочный монтаж, выполняемый либо самим композитором, либо каким-то специально натренированным оператором по заданной программе.

Отсюда не следует, что метод «электронной музыки» должен быть нами отвергнут. В последующем изложении мы остановимся на этом вопросе более подробно.

Итак, из всех работ в области электромузыки наибольший интерес представляют поиски средств для создания красивого и выразительного звучания. Исходя из этого, рассмотрим, какие же интересные предложения возникли в последние годы у нас и за рубежом.

РАЗРАБОТКА ГЕНЕРАТОРНЫХ УСТРОЙСТВ

Для того чтобы музыка была выразительной, в ней не должно быть фальшивых звуков. Современная техника должна обеспечить нас инструментами со стабильным строем. В этом отношении электромузыкальные инструменты делятся на две категории: стабильные и нестабильные.

Пока еще трудно отнести к первой категории какой-либо одноголосный грифовый электронный инструмент. Как правило, их строят на релаксационных генераторах, которые не могут обеспечить хорошей устойчивости частоты. Как это ни странно, но генераторная основа терменвокса и сонара (генерация по методу биений) была принципиально более совершенной, чем основа значительного количества современных инструментов, построенных на мультивибраторах. Сюда относятся клавиолина (Франция), электролина (СССР) и многие другие инструменты.

Совсем другая картина наблюдается в электроорганах и других электронных инструментах с фиксированным строем. Современная электроника уже создала все необходимые средства для генерации стабильных фиксированных частот. Наиболее хороши здесь пока камертонные генераторы. У нас они применяются с 1951 г. в аппарате позывных сигналов Всесоюзного радио, который, по сути дела, представляет собой автоматический музыкальный инструмент, исполняющий несколько тактов из припева «Песни о Родине» И. О. Дунаевского. За рубежом эти же генераторы применили в своем электронном синтезаторе Олсон и Белар (США). Построив инструмент на камертонных генераторах, можно в дальнейшем не беспокоиться о его настройке. На рис. 1 приведена принципиальная схема камертонного генератора, использованного в аппарате позывных сигналов.

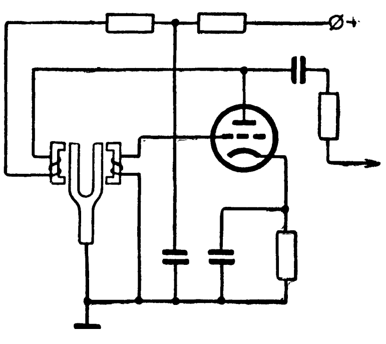


Рис. 1. Принципиальная схема камертонного генератора.

В настоящее время техника изготовления камертонных генераторов усовершенствовалась в связи с решением задачи построения электрических часов. Габариты генераторов резко сокращены благодаря применению транзисторов и малогабаритных камертонов. Можно надеяться, что внедрение миниатюрных камертонных генераторов в сферу электромузыки даст возможность построения компактных музыкальных инструментов, работающих с прецизионной точностью, не достигнутой в обычных роялях, орга́нах, арфах и аккордеонах. И тогда наши инструменты действительно будут работать «как часы».

Не приходится много говорить о том, какое значение это будет иметь для получения точной настройки, недостижимой в обычных музыкальных инструментах, и как благотворно это может отразиться на воспитании слуховых навыков у подрастающего поколения. Ведь сейчас точный строй роялей выдерживается, как правило, только в концертных залах, где настройка производится ежедневно. В клубах и бытовых условиях рояли и пианино настраиваются не чаще, чем раз в полгода-год. В этом случае трудно говорить о точном строе.

Казалось бы, что достаточно установить двенадцать камертонных генераторов для верхней октавы и систему делителей для остальных звуков. Но в действительности это не совсем так. Математически точные октавы хороши только в пределах средней части клавиатуры (три октавы). Хороший настройщик всегда уводит верхние звуки немного вверх, а нижние звуки немного вниз от точного значения октавы.

В зарубежной литературе по вопросам музыкальной акустики упоминается о кривой Рейлсбека. Для ее проверки было проведено сравнительное прослушивание трех записей специально подобранных

отрывков фортепианной музыки, особенность которых заключалась в применении больших интервалов (порядка двух октав). Эти отрывки были записаны на пианино в трех вариантах: 1) при настройке «с математически точными значениями октав»; 2) по кривой Рейлсбека и 3) на слух (опытным настройщиком). Наименее положительную оценку получил первый вариант настройки. Кривая,

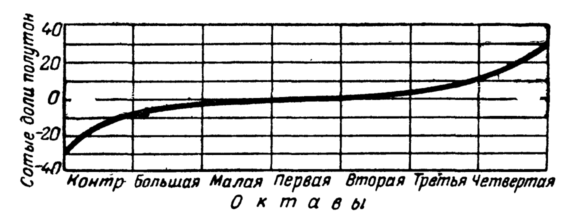


Рис. 2. Кривая Рейлсбека.

показывающая зависимость отклонения высоты тона от точных значений двенадцатиступенной равномерной темперации, показана на рис. 2.

В последнее время зарубежные фирмы стали выпускать инструменты с гармоническим синтезом тембра, в которых для каждой из клавиш установлен один LC-генератор на транзисторе. Применение

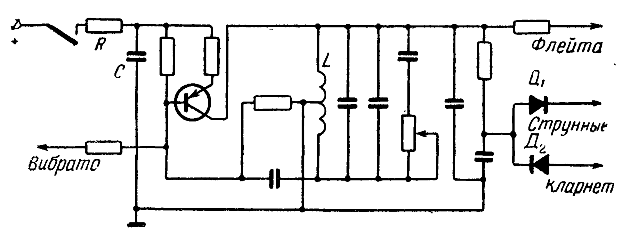


Рис. 3. Схема генератора электрооргана фирмы Аллен.

высокостабильных колебательных контуров в органах фирмы Аллен позволило получить малую зависимость частоты от питающего напряжения. А это дало возможность выполнить на одном транзисторе генератор и манипулятор.

Схема такого генератора-манипулятора приведена на рис. 3. В обычном генераторе звуковой частоты применена катушка индуктивности L, выполненная на тороидальном сердечнике из порошкообразного молибдена. Мягкая атака и затухание звука получаются благодаря наличию цепочки RC в цепи эмиттера и базы. Диоды $Д_1$ и $Д_2$ включены для того, чтобы получить на выходах генератора различные тембры. Значение частот для всех звуков клавиатуры соответственно результатам измерений, проведенных в США, следует выбирать с учетом зависимости, показанной на рис. 2.

Интересно отметить, что применение частотной модуляции генератора путем изменения питающего напряжения всегда является показателем плохой стабильности строя. Получивший у нас большое

распространение электромузыкальный инструмент «ионика» (ГДР) представляет собой характерный пример использования недостаточной стабильности частоты генераторов для получения звуковысотного вибратора, выполняемого с помощью частотной модуляции.

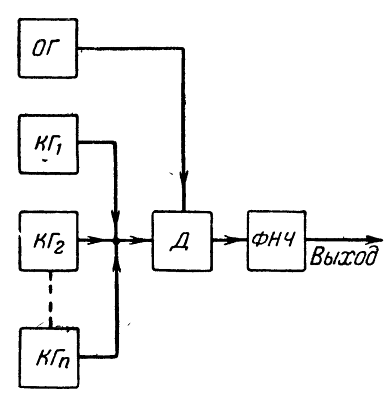


Рис. 4. Блок-схема генераторной основы камертонного электрооргана с применением метода биений.

Другой метод генерации звуков электромузыкальных инструментов — метод биений. На базе этого метода построен терменвокс. Большие преимущества метода биений при осуществлении гармонического синтеза привели к поискам путей для получения возможности построения на этой базе электроорганов.

В одном из отечественных изобретений (авторское свидетельство № 113073) приводится описание такого инструмента. Его основой являются камертонные генераторы, настроенные на высокие звуковые частоты. Блок-схема инструмента показана на рис. 4. Допустим, что общий генератор *ОГ* настроен на частоту 7 *кгц*. Тогда, настраивая каждый клавишный генератор *КГ* на частоту $F+f_к$, где F — частота общего генератора, а $f_к$ — частота настройки для данной клавиши, мы можем получить на выходе детектора *Д* разностную частоту, включаемую с помощью данной клавиши. Естественно, что исходные частоты должны быть подавлены с помощью фильтра нижних частот ФНЧ.

В Институте звукозаписи были испытаны генераторы с камертонами на частоту 7 *кгц*. На рис. 5 показаны вид и размеры такого камертона. Этот инструмент удобен тем, что разница в размерах между камертонами верхнего и нижнего регистров очень невелика. Для получения звуков верхнего регистра было бы крайне желательно повысить частоты камертонных генераторов. Но эта работа еще не была проведена.

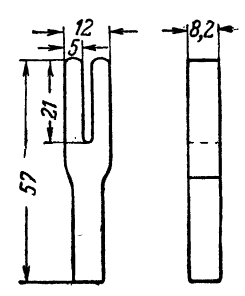


Рис. 5. Камертон на частоту 7 *кгц*.

Естественно, что стабильность частоты интерференционного камертонного генератора должна обеспечить сохранение строя. Наихудшие условия в этом отношении создаются на самом нижнем звуке инструмента. Предположим, что на звуке «до» большой октавы (65,4 *гц*) нестабильность частоты должна укладываться в пределах ±6 центов (1,96 *гц*). Эта же полоса нестабильности, перенесенная в диапазон частот около 7 *кгц*, составит около 0,03%. Следовательно, стабильность интерференционного ка-

мертонного генератора должна быть того же порядка. Практическое испытание генератора показало, что такая стабильность реальна.

Затруднения, возникающие при выполнении стабильной генераторной основы, привели к поискам новых путей. Стали думать о том, нельзя ли получить от генератора все частоты, а затем с помощью фильтров выбирать необходимые. Такая задача решается путем применения генератора белого шума. В зависимости от

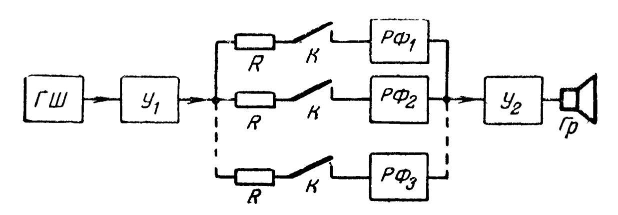


Рис. 6. Блок-схема электрооргана с шумовым генератором.

избирательности резонансного фильтра можно получить тонально окрашенный шум (при полосе порядка 6%) или вполне отчетливый по высоте тон (при полосе 2% или меньше).

Естественно, что построение такого инструмента кажется весьма заманчивым делом. Его блок-схема представлена на рис. 6. Генератор белого шума *ГШ* соединен с усилителем звуковой частоты $У_1$. К выходу усилителя через выключатели *К* и развязывающие резисторы *R* присоединены резонансные фильты $РФ_1$, $РФ_2$ и др., в качестве которых можо применить *LC*-фильтры, *RC*-фильтры и электромеханические фильтры (кварцевые, камертонные, магнитострикционные и др.). Контакты *К* расположены под клавишами и служат для включения необходимых тонов. Резисторы *R* ослабляют шунтирующее действие цепи выхода усилителя $У_1$ на входные цепи резонансных фильтров. Благодаря наличию собственной постоянной времени фильтра он вместе с контактом *К* заменяет не только генератор, но и манипулятор. Частоты, выделенные фильтрами, смешиваются на входе усилителя звуковой частоты $У_2$ и поступают на громкоговоритель *Гр*.

Многоголосные электромузыкальные инструменты с шумовыми генераторами и системой фильтров пока еще существуют в виде изобретений (авторское свидетельство № 82917) и макетов. Помимо простоты их устройства и надежности действия, они еще привлекательны тем, что в них никак нельзя ожидать той монотонности звучания, которой отличаются электронные музыкальные инструменты с ламповыми и транзисторными генераторами.

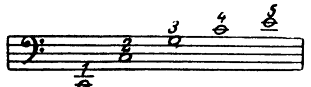
ПРОБЛЕМА СОЗДАНИЯ НОВЫХ ТЕМБРОВ

Эта проблема была и, по-видимому, остается центральной проблемой электромузыки. Прежде чем приступить к ее рассмотрению, мы должны определить, что такое новый тембр. Построить новый инструмент, тембр которого был бы ни на что не похож и который

звучал бы красиво — задача очень трудная. В процессе развития мировой музыкальной культуры было испытано огромное количество инструментов с самыми разнообразными тембрами. Поэтому мы были бы склонны назвать новым такой тембр, который, даже будучи похожим на уже известный, обладает какими-то новыми (конечно, полезными) качествами, позволяющими отчетливо распознать его.

Исходя из нашей уже сформулированной позиции, мы будем здесь говорить только о тембрах, пригодных для исполнения выразительной музыки (серьезной и легкой).

Как известно, тембр звука зависит от следующих факторов: 1) от состава обертонов и их относительных амплитуд (здесь обычно говорится о гармоническом и формантном методе формирования тембра); 2) от временно́й и спектральной характеристик атаки и затухания звука; 3) от наличия или отсутствия вибрато; 4) от наличия или отсутствия унисона и от ширины полосы основного тона и каждого обертона; 5) от наличия или отсутствия реверберации.



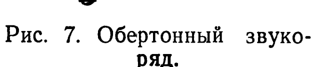


Рис. 7. Обертонный звукоряд.

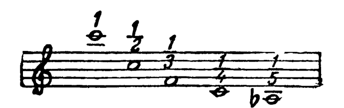


Рис. 8. Унтертонный звукоряд.

Формирование тембров с помощью гармонического и формантного методов давно нашло применение как в одноголосных, так и в многоголосных электромузыкальных инструментах. В конце 50-х годов в ГДР и ряде других стран стали применять формирование унтертонов, т. е. дополнительных звуков, частоты которых составляют $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ и т. д. по отношению к частоте основного тона.

В микстур-траутониуме для получения унтертонов применяются делители частоты. Для того чтобы получить некоторое представление о составе унтертонов, попробуем сравнить обертонный звукоряд с унтертонным. На рис. 7 дается нотное обозначение звуков обертонного, а на рис. 8 — унтертонного звукоряда. Надо оговориться, что точные значения частот обертонов и унтертонов отнюдь не всегда совпадают с частотами стандартного двенадцатиступенного равномерно темперированного строя.

Рассматривая оба звукоряда, мы можем заметить следующее: 1. Обертонный звукоряд образует на первых пяти обертонах мажорное трезвучие, обладающее естественным для правильной гармонии расположением звуков (верхние звуки расположены более тесно). 2. Первые пять унтертонов образуют минорный секст-аккорд, который может быть превращен в минорный аккорд при добавлении шестого унтертона. Расположение этого аккорда оказывается менее естественным по сравнению с мажорным трезвучием натурального звукоряда. Допустим, что на микстур-траутониуме исполняется какая-то мелодия. Тогда все минорные аккорды будут идти параллельно ей и это создаст специфическое звучание довольно ограниченного применения. Как правило, микстур-траутониум с его унтертонами применяется для исполнения специально написанной музыки (главным образом, в студиях электронной музыки радио ГДР).

Применение делителей частоты наряду с умножителями в одном устройстве дает возможность получения негармонических обертонов, которые в несколько неорганизованном виде существуют в обычных музыкальных инструментах. Это в особенности относится к инструментам с пластинками и стержнями (ксилофон, виброфон, тубафон и др.).

Блок-схема устройства для получения негармонических обертонов путем их деления, разработанная Институтом звукозаписи, показана на рис. 9. Транзитронные генераторы $Г_1$ и $Г_2$ служат для образования основных тонов и их обертонов. Основные тоны выделяются по высокой частоте полосовыми фильтрами $Ф_1$ и $Ф_2$ и затем после детектора $Д_1$ поступают на усилитель звуковой частоты и громкоговоритель. Фильтры $Ф_3$ и $Ф_4$ выделяют необходимые гармоники, которые поступают на делители частоты $ДЧ_1$ и $ДЧ_2$.

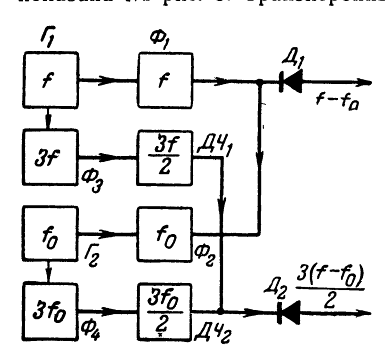


Рис. 9. Блок-схема устройства для получения негармонических обертонов.

Предположим, что генератор $Г_1$ работает на частоте f, а генератор $Г_2$ на частоте f_0. Тогда на выходе детектора $Д$ можно получить частоты $f—f_0$, $3(f—f_0)$, $5(f—f_0)$ и т. д. Четные гармоники могут быть ослаблены путем подбора режима генераторов. Если с помощью фильтров $Ф_3$ и $Ф_4$ выделить третьи гармоники и понизить их частоты на октаву с помощью делителей частоты $ДЧ_1$ и $ДЧ_2$, то на выходе детектора $Д_2$ можно получить частоту: $3(f—f_0)/2$. Таким образом, мы получим негармонические обертоны первой степени родства. Изменяя коэффициент деления делителей частоты, мы получим соответственно другие цифры в знаменателях и, следовательно, другие негармонические обертоны.

Одной из интереснейших проблем в области формирования тембра является проблема синтетического унисона (унисоном называется совпадение голосов на одном и том же звуке). В своем труде «Основы оркестровки» Н. А. Римский-Корсаков писал, что соединение в унисон первых скрипок со вторыми, очевидно, не может внести какого-либо изменения в скрипичный тембр, сообщая ему бо́льшую густоту и в то же время мягкость, но в мелодиях и фразах, исключительно требующих гибкости выражения, следует предпочитать инструменты соло, т. е. простые тембры. Так, великий русский композитор отчетливо сформулировал как достоинства, так и недостатки унисонного звучания.

Естественно, что очень хотелось бы создать такой инструмент, который при одном исполнителе обеспечил бы унисонное звучание с сохранением всех его достоинств и устранением его недостатков. Приступая к решению этой задачи, надо прежде всего постараться определить, чем же отличается унисон от сольного звучания и каковы его акустические особенности.

Прежде всего следует обратить внимание на то, что несколько исполнителей, играющих одну и ту же партию, как правило, не

могут в любой данный момент времени взять звук одной и той же высоты с абсолютной точностью. Всегда существует некоторый разброс. Одни музыканты играют «на волосок» выше, другие — ниже, но все это в пределах отсутствия фальшивого звучания. Следовательно, унисон отличается от сольного звучания тем, что вместо одной точки на шкале частот появляется узкая полоса дискретных частот. Чем больше исполнителей, тем меньше эта дискретность. Максимальную полосу (или зону), в пределах которой унисонное звучание, обогащая звук, не делает его интонационно неопределенным, мы назовем максимальной полосой (или зоной) унисона.

Вторым, крайне важным показателем унисона надо, по-видимому, считать некоторую неодновременность атаки (а может быть и затухания) звука, которая также должна укладываться в пределах какой-то оптимальной временной зоны. Исполнители всегда играют немного «не вместе». Если временна́я зона невелика, то ни сами исполнители, ни слушатели не замечают нестройности исполнения. Вероятно, так же как и в случае со звуковысотной зоной унисона, наличие очень незначительного разнобоя в исполнении только обогащает звучание.

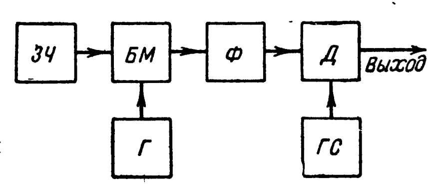


Рис. 10. Блок-схема аппарата для перестановки частот.

Можно предположить, что чем короче время атаки звука, тем меньше должно быть время максимально допустимой временно́й зоны унисона. При мягкой атаке скрипки (до 500 *мсек*) эта зона должна быть больше, чем при игре на том же инструменте приемом пиццикато (щипком), когда время атаки сокращается примерно до 20 *мсек*.

Третья особенность унисона заключается в его разнотембровости. Как правило, не существует двух однотипных инструментов с абсолютно идентичными спектрами. Если эта неоднородность достаточно мала, то специфика данного типа инструмента сохраняется, и у слушателя поддерживается ощущение тембрового единства даже при множестве исполнителей.

Четвертая особенность унисона — его пространственность. В концертном зале эта пространственность особенно заметна в силу того, что исполнители размещаются в различных точках эстрады. Однако это не единственная причина пространственности (или объемности) звучания унисона. Даже при передаче по радио двух скрипок, играющих в унисон и расположенных рядом, ощущается бо́льшая объемность, чем при передаче одной скрипки.

Мы перечислили ряд основных признаков унисона. Момимо этого существуют и второстепенные его признаки. Сюда можно отнести некоторую разностильность исполнения, различные уровни громкости, различные частоты вибрато и ряд других признаков.

Каковы же пути создания синтетического унисона? Первое его свойство — разновысотность — можно имитировать путем использования аппаратуры, применяемой для однополосной модуляции. Работающий на этой базе аппарат для перестановки частот (рис. 10) действует следующим образом. Источник звуковой частоты

ЗЧ воздействует на балансный модулятор *БМ*, к которому подается также напряжение несущей частоты от генератора *Г*. Фильтр *Ф* подавляет одну из боковых полос (верхнюю или нижнюю). После этого фильтра выделенная боковая полоса воздействует на детектор *Д*, с которым связан генератор сдвига *ГС*.

В итоге интерференции между выделенной боковой полосой частот и генератором сдвига *ГС*, частота которого немного отличается от несущей частоты, на выходе детектора можно получить спектр звуковых частот, сдвинутый относительно исходного спектра на частотный интервал $\Delta f = F_н - F_с$, где Δf — интервал сдвига; $F_н$ — частота несущей, а $F_с$ — частота генератора сдвига. Все эти величины обычно для удобства выражают в герцах.

Один из многих возможных вариантов принципиальной схемы устройства для перестановки частот дается на рис. 11. На вход (зажимы *1* и *2*) балансного кольцевого модулятора *БМ* через резисторы R_7 и R_8, ослабляющие воздействие цепи входа на балансировку, подается напряжение звуковой частоты (1,35 *в*). На другой вход модулятора с движков потенциометров R_{10} и R_{13} от кварцевого генератора *ГВЧ* через буферный каскад *БКМ* поступает напряжение несущей частоты (128 *кгц*). Ее подавление на выходе модулятора осуществляется установкой движков потенциометров. Таким образом, на зажимах первичной обмотки выходного трансформатора модулятора $Тр_2$ преобладает напряжение боковых частот. Кварцевый фильтр *КФ* обеспечивает выделение нижней боковой полосы в диапазоне частот от 127 950 до 121 950 *гц*.

Напряжение нижней боковой полосы через трансформатор $Тр_3$ поступает на вход усилителя высокой частоты *УВЧ*. Вторичная обмотка выходного трансформатора $Тр_4$ этого усилителя соединена последовательно со вторичной обмоткой выходного трансформатора $Тр_5$, на который поступает напряжение от генератора сдвинутой частоты *ГСЧ* через буферный каскад *БКД*. В итоге на детектор *Д*

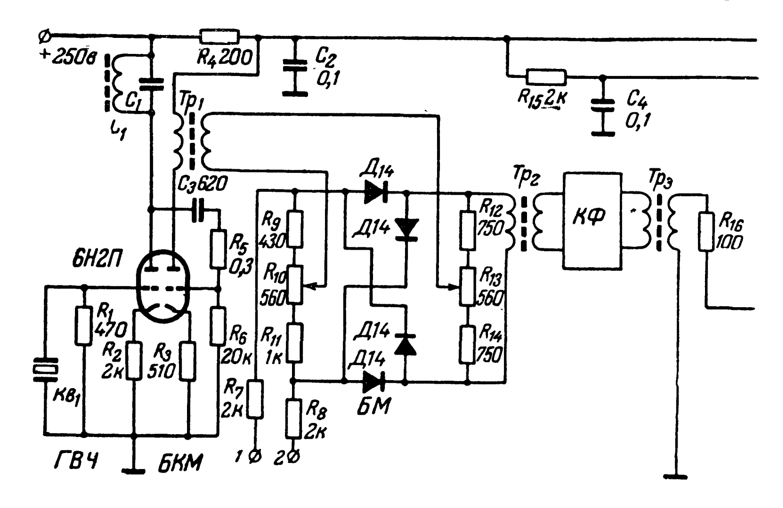


Рис. 11. Схема устройства для пере

подаются напряжения нижней боковой полосы частот и генератора сдвинутой частоты. Интервал сдвига регулируется подстроечным конденсатором C_7.

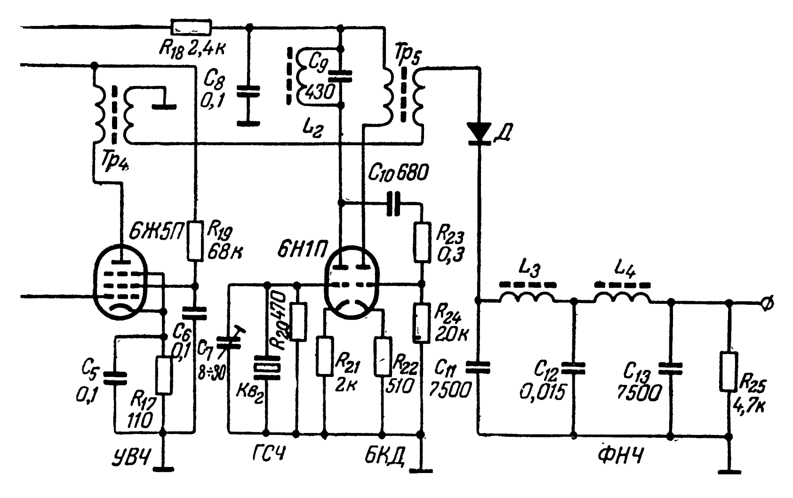
Фильтр нижних частот *ФНЧ* служит для подавления частот выше 6 *кгц*, что необходимо для устранения искажений, возникающих вследствие перегрузки входного каскада усилителя звуковой частоты. Вход фильтра нижних частот соединяется с входом звуковоспроизводящего агрегата.

Увеличивая число детекторных каналов, состоящих из каскада усиления высокой частоты, генератора с буфером, диодного детектора и фильтра нижних частот, можно получить несколько точек пространственного унисонного вибрато с разными частотами биений.

С 1962 г. в США начали применять устройства по транспонированию частот для звукоусиления. Этот метод имеет следующие преимущества перед обычными методами усиления: 1) максимальное усиление в зале возрастает в среднем на 6 *дб*; 2) генерация возникает более мягко, и при снижении усиления примерно на 2 *дб* удается очень быстро восстановить устойчивую работу системы.

В радиовещании ФРГ применялся сдвиг спектра звуковых частот на большой интервал (порядка сотен герц и нескольких килогерц), что позволило получить оригинальные звуковые эффекты. Надо заметить, что в этом случае любой гармонический спектр преобразуется в негармонический. Поэтому перестановка частот на большой интервал дает наибольший эффект для ударных инструментов.

Проверка работы аппарата для перестановки частот, проведенная в процессе эксплуатации электромузыкальных инструментов кристадина и камертонного пианино, показала, что при одновременном звучании основного канала и канала сдвинутых частот получается красивое вибрато, звук становится более объемным и сочным. Однако это еще не унисон. В дальнейшем была предложена схема



становки частот.

унисонного аппарата, отличающаяся тем, что в каналы сдвига вводились линии задержки.

В качестве линий задержки могут быть использованы различные электромеханические резонаторы (кварцевые, магнитострикционные, язычковые, пружинные и др.). При этом не исключена возможность применения резонаторов из дерева типа деки, снабженных адаптерами для возбуждения колебаний в резонаторе и для снятия

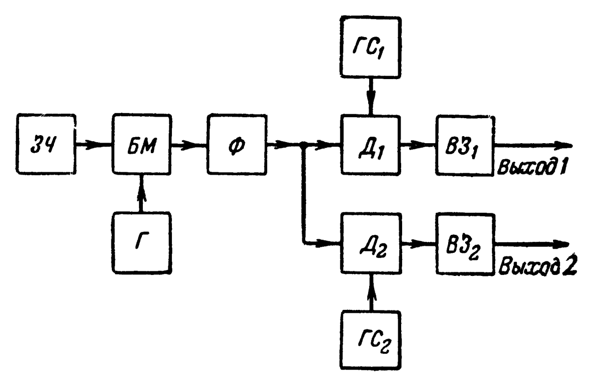


Рис. 12. Блок-схема унисонного устройства.

колебаний, задержанных по времени. Можно применить и электрические схемы для временной задержки, а также различные ревербераторы.

Блок-схема унисонного устройства с временными задержками приведена на рис. 12. Источник звуковой частоты *ЗЧ* воздействует на балансный кольцевой модулятор *БМ*. К этому же модулятору подводится несущая частота от генератора *Г*. Далее обычным путем при помощи фильтра *Ф* выделяется одна боковая полоса частот. Эта полоса затем подается на детекторы $Д_1$ и $Д_2$, соединенные с генераторами сдвига $ГС_1$ и $ГС_2$. После детекторов включены устройства временной задержки по низкой частоте $ВЗ_1$ и $ВЗ_2$, выходы которых соединяются и подаются на усилитель звуковой частоты и громкоговоритель. Более предпочтительно, однако, включение каждого выхода на свой усилитель и громкоговоритель. Это дает более пространственное звучание.

Рассмотренное устройство кажется весьма перспективным. Однако оно, к сожалению, не было выполнено и проверено на практике.

Другой способ образования унисонного звучания состоит в том, что одновременно работает группа устройств фазового вибрато, в которых устанавливаются различные частоты модуляции. При этом, естественно, основные частоты в разных каналах не совпадают, что и позволяет получить нечто подобное унисонному звучанию. Такое устройство было осуществлено в ГДР в аппарате, предназначенном для студии электронной музыки.

В дальнейшем в США было предложено принять меры для сохранения средней частоты вибрирующего основного тона. Для это-

го в двух устройствах частотной модуляции вибрато движутся навстречу или в противоположные стороны.

Наконец, можно упомянуть о возможности получения унисона методами пространственного вибрато. В обычных музыкальных инструментах применяется звуковысотное вибрато (частотная модуляция) и громкостное вибрато (амплитудная модуляция). Однако на этих инструментах совершенно невозможно выполнить вибрато, по-

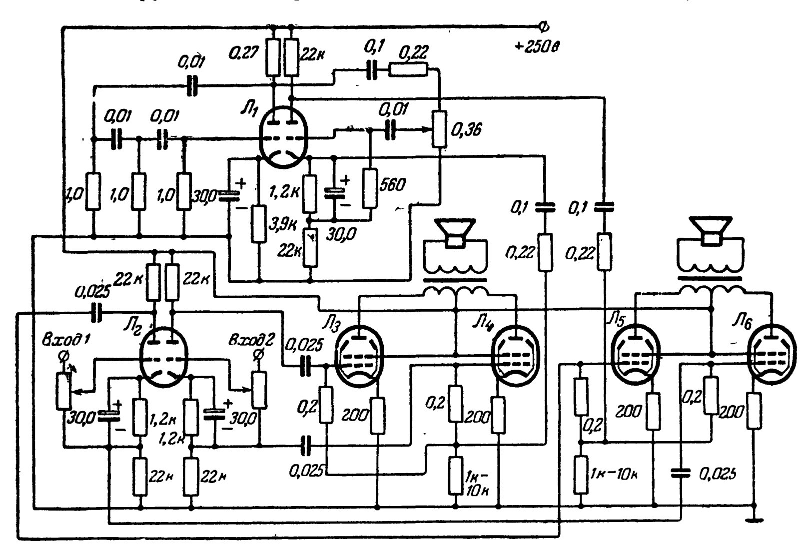


Рис. 13. Схема устройства для образования пространственного вибрато.

лупериоды которого чередовались бы в различных точках эстрады. Электрические же методы позволяют получить звук, как бы качающийся в пространстве. Так, например, при работе одного источника звуковой частоты на два громкоговорителя можно добиться ослабления звука на одном из них при одновременном усилении звука на другом.

Для этого можно применить схему, показанную на рис. 13. Здесь, на входы двух усилителей (*Вход 1* и *Вход 2*) подается напряжение от генераторной части электронного музыкального инструмента или от другого источника звуковой частоты. В каждом усилителе имеются фазоинвертер и мощный выходной двухтактный каскад, соединенный с громкоговорителем. Генератор инфразвуковой частоты (левый по схеме триод лампы $Л_1$) соединен с фазоинвертером (правый триод лампы $Л_1$). С одного из выходов фазоинвертера напряжение поступает в сеточные цепи оконечного двухтактного каскада первого, а с другого выхода — в сеточные цепи оконечного двухтактного каскада второго канала. Поскольку периоды инфразвуковой частоты сдвинуты на 180°, одновременно с увеличением коэффициента усиления одного канала происходит снижение коэффициента усиления

другого. В результате обеспечивается плавная переброска звука с одного громкоговорителя на другой.

Нельзя не отметить, что перемещение звука в пространстве неизбежно должно сопровождаться периодическим изменением его фазы. В итоге с помощью одной только амплитудной модуляции удается получить не только громкостное, но и звуковысотное вибрато. Подбирая различные частотные характеристики в обоих каналах, можно дополнительно получить и тембровое вибрато. Однако более совершенным видом этого вибрато надо признать подачу двух различных тембров на входы каналов.

Периодическая электронная коммутация двух и более программ создает новые возможности. При этом возможно чередование звука и узкой шумовой полосы или чередование двух шумовых полос различной ширины. При подаче на каналы звуков различной высоты можно получить пространственные трели и тремоло вплоть до аккордовых. При наличии реверберaтора можно чередовать прямой звук с реверберирующим или два (и более) звука с различным временем реверберации. При наличии унисонного устройства нетрудно добиться чередования звуков различной высоты в пределах оптимальной полосы унисона. Увеличивая число коммутируемых каналов, можно получить круговое вибрато. Для этого, конечно, надо установить соответствующим образом громкоговорители. Как нам кажется, эта форма вибрато с большим успехом может быть применена в ритме вальса.

Все перечисленные виды пространственного вибрато допустимы как при синусоидальной, так и при несинусоидальной форме модуляции. Последняя может быть очень интересной для получения чередующихся затухающих звуков, что, в частности, получается при пилообразной форме кривой генератора инфразвуковой частоты.

В последние годы за рубежом стали появляться устройства для формирования вибрато с применением диодов и фоторезисторов. Емкость колебательного контура генератора образуется тремя конденсаторами. Два из них, соединенные последовательно с диодами, дают возможность изменять частоту примерно на 15%. Диоды отпираются поочередно при действии устройства, в котором применены фоторезисторы. Между ними и источником света помещены движущиеся заслонки. Таким образом, при симметричном (вверх и вниз) вибрато средняя частота остается неизменной.

Для получения унисонного вибрато нередко используется группа вращающихся громкоговорителей. Авторы статей об электромузыкальных инструментах подчеркивают красивое звучание орга́нов, снабженных таким устройством.

Одним из крупнейших недостатков электрических музыкальных инструментов можно считать чрезмерную монотонность их звучания. Это вызывается постоянством высоты тона, уровня громкости и тембра. Применение вибрато несколько улучшает дело, но наличие слишком постоянной частоты модуляции сообщает звуку несколько моторное звучание.

В поисках преодоления этой монотонности и моторности предпринимаются попытки формирования звучания путем выделения узких шумовых полос. Говоря о генераторах для электроорга́нов, мы уже упоминали об этой возможности для генерации основных тонов. Естественно, что та же схема может обеспечить и генерацию обертонов. В отличие от обычных электроорга́нов основные тоны, а также

обертоны здесь оказываются полосовыми. Очевидно, что при подборе надлежащей ширины полосы можно получить нечто подобное унисонному звучанию с бесконечным числом значений частот внутри избранной полосы. Надо сказать, что композиторы очень ценят увеличение числа точек в унисоне.

Электроорга̀н с полосовыми обертонами работает так же, как и ранее описанный орга̀н с генератором белого шума, с той лишь разницей, что для каждого обертона предусматривается свой фильтр.

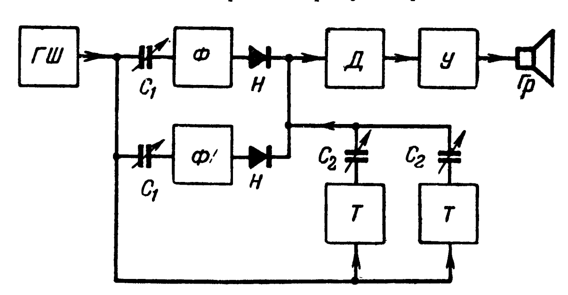


Рис. 14. Блок-схема формирования полосовых обертонов по методу биений.

Для получения достаточно отчетливой высотной интонации приходится ставить в каждом фильтре не менее двух контуров. Во втором контуре каждого фильтра имеется вторичная обмотка. Все вторичные обмотки данного обертона соединяются последовательно и включаются в усилительный каскад, в котором предусматривается регулятор уровня громкости данного обертона. Мягкая атака звука получается благодаря постоянной времени фильтра.

Стремление к упрощению такого инструмента привело к разработке устройства, работающего по методу биений. Блок-схема этого устройства приведена на рис. 14. Напряжение с выхода генератора белого шума *ГШ* через конденсаторы C_1, расположенные под клавишами, поступает на входы фильтров ультразвуковой частоты *Ф*. Сигналы с выходов этих фильтров проходят через нелинейные элементы *Н* и поступают на детектор *Д*. Сюда же через конденсаторы C_2 подаются сигналы генератора *ГШ*, прошедшие тембровые фильтры *Т*. Нелинейные элементы в цепях фильтров вызывают появление гармоник сигналов, прошедших через фильтры.

В результате биений между соответствующей гармоникой сигнала и частотами, выделенными тембровыми фильтрами, после детектора выделяется соответствующий полосовой обертон звука органа. Амплитуда данного обертона регулируется путем изменения емкости конденсатора C_2. Все сигналы низкой частоты поступают на усилитель *У* и воспроизводятся громкоговорителем *Гр*.

Если, например, при нажиме на какую-то клавишу через один из конденсаторов C_1 и соединенный с ним фильтр на детектор будет подана полоса частот со средней частотой f_1, а от фильтра *Т* — полоса со средней частотой f_2, то на выходе детектора *Д* образуется разностная полоса частот (допустим, что около 440 *гц*) и громкоговоритель воспроизведет эту полосу, создающую ощущение звучания тона

«ля» первой октавы. Наличие нелинейного элемента *Н* приведет к возникновению частот $2f$, $3f$ и т. д. Для образования вторых гармоник один из фильтров *Т* настраивается на удвоенную частоту. В результате на выходе детектора будет получена полоса, соответствующая второму обертону звука «ля» первой октавы. Аналогичным путем формируются и остальные обертоны.

Одним из интересных средств для изменения тембра может служить управляемая реверберация. Ревербератор органа фирмы Хаммонд (США) работает на двух спиральных пружинах, которые для

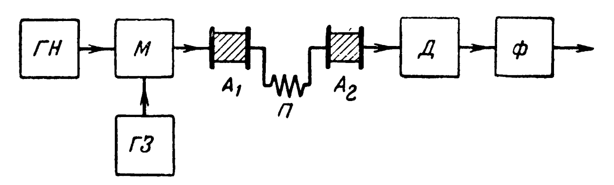


Рис. 15. Блок-схема спирального реверберайтора с модуляцией.

улучшения частотной характеристики системы находятся в масле. При большом времени реверберации она начинает действовать в какой-то мере аналогично фортепианной педали. Пока исполняется музыка на звуках, входящих в состав одного аккорда, никаких неприятностей не происходит, но как только появляется новый аккорд, остаток звучания предыдущего аккорда загрязняет гармонию. Так что, серьезно говоря, реверберайтором надо управлять как педалью. Но для этого придется либо каждый раз с нажимом на педаль демпфировать пружины, либо обеспечить при каждом последующем нажиме переключение на другой реверберайтор (всего их понадобится два). Основное затруднение состоит в том, что пока еще не созданы компактные и вместе с тем высококачественные реверберайторы. Надо оговориться, что в тех случаях, когда требуется только изменить объемность звучания при времени реверберации до 2 *сек*, применение педали для управления реверберацией, по-видимому, не потребуется.

В последнее время в электромузыкальных инструментах стали применять спиральные реверберайторы, работающие в диапазоне 20 *кгц*. Это дает возможность получить более равномерную частотно-амплитудную характеристику реверберации. Схема такого устройства показана на рис. 15. На модулятор *М* подаются напряжения от генератора несущей частоты *ГН* (20 *кгц*) и генератора звуковой частоты *ГЗ*. Модулированные колебания через пьезоадаптер A_1 возбуждают спиральную пружину *П*. Второй пьезоадаптер A_2 служит для обратного преобразования механических колебаний в электрические. Детектор *Д* демодулирует сигнал, прошедший через пружинный реверберайтор. Уровень громкости канала реверберации устанавливается при помощи регулятора, включенного между детектором и *RC*-фильтром *Ф*, предназначенном для подавления ультразвуковой частоты.

Благодаря тому, что после модуляции соотношение между полосой частот и средней частотой становится более выгодным, этот ультразвуковой реверберайтор обладает более равномерной частотно-

амплитудной характеристикой реверберации по сравнению с низкочастотными пружинными ревербераторами.

Перейдем теперь к вопросу о тембровом выделении мелодии.

В «Основах оркестровки» Н. А. Римский-Корсаков писал, что выделение мелодии может быть искусственное и естественное и что первое не зависит от характера тембра мелодии и достигается посредством динамических оттенков большей степени, чем в других голо-

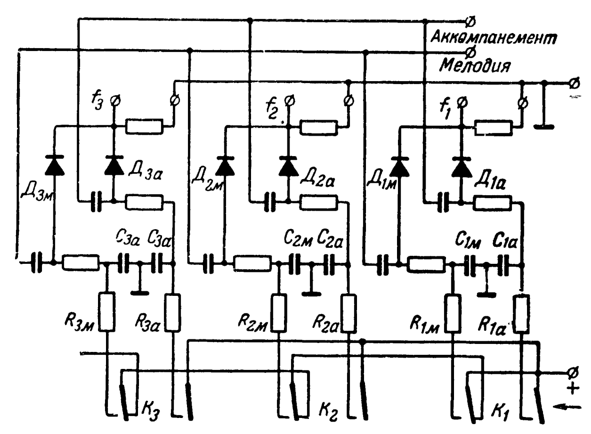


Рис. 16. Схема устройства для тембрового и динамического выделения мелодии.

сах, естественное же выделение мелодии достигается подбором, т. е. противопоставлением тембра или усилением звучности через удвоение, утроение и т. д., а также перестановкой инструментов, например виолончелей выше альтов или скрипок, кларнетов или гобоев выше флейт, фаготов выше кларнетов и т. п.

Тембровое выделение мелодии можно получить на органе, играя правой рукой мелодию на одном мануале (ручной клавиатуре), левой — аккорды аккомпанемента на другом, а басы — ногой. Исполнение современной музыки таким приемом оказывается не всегда удобным по следующим причинам. Во-первых, быстрое и точное исполнение басовой партии с помощью одной ноги (или даже двумя ногами) оказывается практически невозможным. Во-вторых, в современном изложении фортепианной музыки (а иногда и органной) пальцы правой руки, не занятые для исполнения мелодии, очень часто используются для исполнения аккомпанемента и дополнительных голосов.

Институтом звукозаписи разработано устройство, обеспечивающее возможность тембрового, динамического и пространственного выделения любого крайнего голоса (мелодии или баса) при наличии одной клавиатуры. Одновременно с этим создается возможность исполнения аккомпанемента другим тембром свободными пальцами правой руки.

Схема устройства для тембрового и динамического выделения мелодии приведена на рис. 16. В нижней части этой схемы обозна-

чены контактные группы K_1, K_2, K_3, расположенные под клавишами. Правые два контакта в каждой группе служат для включения голосов как мелодии, так и аккомпанемента, а левые три контакта обеспечивают подачу верхнего голоса (мелодии) на самостоятельное звуковоспроизводящее устройство, в котором предусматриваются средства для формирования тембра.

Предположим, что нажата только клавиша с контактной группой K_1. Тогда звуковая частота f_1 за отрезок времени, определяемый

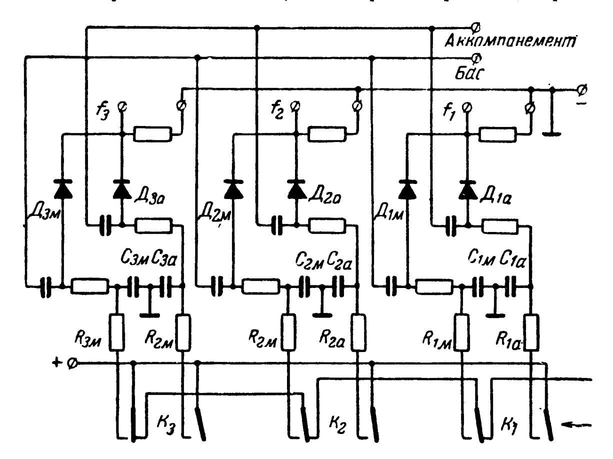


Рис. 17. Схема устройства для выделения нижнего голоса.

постоянными времени $R_{1м}C_{1м}$ и $R_{1а}C_{1а}$, возникнет на зажимах *Аккомпанемент* и *Мелодия*. Посмотрим теперь, что получится при нажатии любой клавиши или группы клавиш, расположенных левее контактной группы K_1. Поскольку эта группа контактов уже действует, положительное напряжение, отпирающее диоды $Д_{2м}$ и $Д_{3м}$, не может попасть на них. А это приведет к тому, что нажатие любой клавиши, исключая крайнюю правую, приведет к подаче соответствующих звуковых частот только на зажим *Аккомпанемент*. Таким образом, при одновременном нажатии ряда клавиш частота, включаемая крайней правой из них, попадает на зажимы *Аккомпанемент* и *Мелодия,* а все частоты, включаемые клавишами, расположенными левее, будут подаваться только на зажим *Аккомпанемент*.

Предполагается, что звуковоспроизводящий тракт, подключенный к зажиму *Мелодия,* пропускает более широкую полосу частот по сравнению с усилителем, подключенным к зажиму *Аккомпанемент*. Это необходимо для получения более яркого тембра мелодического голоса. При таком вполне естественном соотношении тембров параллельное звучание звуков мелодии в канале аккомпанемента не будет иметь значения. В итоге это устройство позволяет получить эффект тембрового выделения мелодии при возможности использования свободных пальцев правой руки для исполнения аккордов аккомпанемента или сопровождающих голосов.

Для тембрового и динамического выделения нижнего голоса можно применить схему, показанную на рис. 17. Применяя же обе схемы (рис. 16 и 17) на одной клавиатуре, можно получить одновременное звучание трех тембров. На этих схемах с целью их упрощения показана коммутации только для трех клавиш.

Если необходимая зона выделения мелодии занимает диапазон не меньше трех октав, то зона выделения баса, как правило, укладывается в области звуков, лежащих ниже «ми» малой октавы. Поэтому кажется возможным выделить нижнюю часть диапазона до «ми



Рис. 18. Разбивка клавиатуры на диапазоны.

бемоль» малой октавы на отдельный канал, что, конечно, проще выделения при помощи переключателей под клавишами и дополнительных манипуляторов. В этом случае можно, применив принцип выделения крайних голосов, получить в пределах одной клавиатуры одновременное звучание четырех тембров. На рис. 18 дается разбивка клавиатуры на диапазоны.

На базе описанного устройства можно осуществить не только выделение крайних голосов, но также и их октавное удвоение. Необходимость октавного удвоения мелодии (без октавного удвоения средних голосов) вытекает из элементарного анализа партитур и основ голосоведения в гармонии и полифонии. В этом отношении сплошное октавное удвоение, имеющееся в органах и аккордеонах, можно считать суррогатным по сравнению с тем, что имеет место в симфоническом оркестре. Поэтому кажется наиболее необходимым обеспечить в первую очередь октавное удвоение мелодии вверх и октавное удвоение баса вниз.

На рис. 19 представлена принципиальная схема устройства для октавного удвоения мелодии. Под каждой клавишей инструмента имеется контактная группа, с помощью которой при нажиме на клавишу осуществляется одно замыкание и одно переключение. Для упрощения на схеме показана коммутация для двух звуков хроматической гаммы в разных октавах. Каскады атаки основных звуков «до» первой октавы, «до диез» первой октавы, «до» второй октавы и «до диез» второй октавы включаются контактами *1* и *2* соответствующих клавиш. Резисторы R и конденсаторы C служат для подбора времени атаки и затухания.

Основной диапазон инструмента ограничен сверху звуком «си» второй октавы. Генераторы звуков третьей октавы не включаются с помощью манипуляторов основных тонов, управляемых контактами *1* и *2*. Контакты *3, 4* и *5* в каждой группе служат для включения октавных звуков мелодии.

Источник питания подключен через переменный резистор R_1 (блокированный конденсатором C_1) и резистор R_2 к контакту *4* кон-

тактной группы крайней правой клавиши (в данном случае по схеме условно считаем, что это «до диез» второй октавы), что позволяет понизить уровень громкости октавных звуков. Если мы нажмем клавишу «до» второй октавы, то контактами *1* и *2* третьей слева группы будет включен манипулятор этого «до», а контактами *3* и *4* этой же группы будет одновременно подано напряжение питания на анод

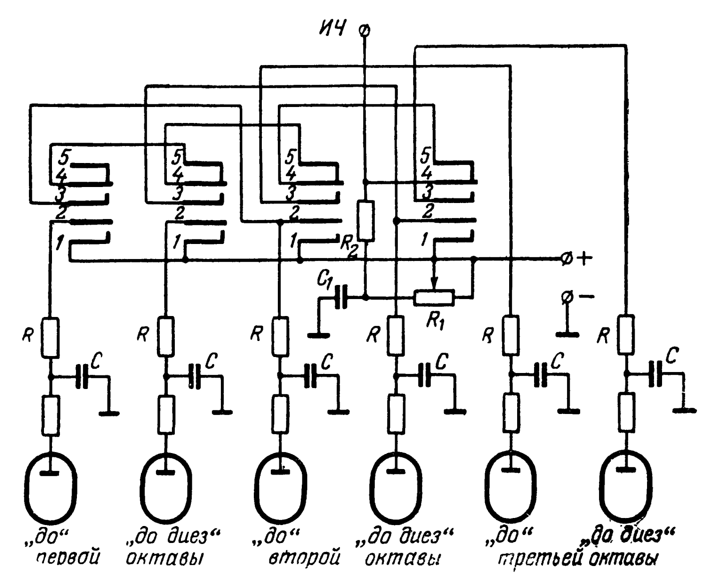


Рис. 19. Схема устройства для удвоения мелодии на октаву вверх.

лампы манипулятора «до» третьей октавы (для упрощения на схеме показаны только анодные цепи). В итоге получится октавное удвоение мелодии. Нажимая любую клавишу левее уже нажатой, мы не можем получить октавного удвоения других звуков, поскольку при замыкании контактов *3* и *4* контакты *4* и *5* размыкаются и на группы октавных контактов *3, 4* и *5,* расположенных левее «до» второй октавы (нажатая клавиша), питание не подается.

Громкость октавного тона и время его возникновения зависят от сопротивления резистора R_1 и емкости конденсатора C_1. Если уровень громкости этого тона невелик, то мы слышим его как второй обертон плюс гармонический звукоряд от него. При большой громкости октавного тона мы уже будем ощущать октавный интервал. Максимальный уровень громкости октавного тона должен быть на несколько децибел ниже того же звука, взятого в качестве основного тона.

Подавая на зажим *ИЧ* переменное напряжение инфразвуковой частоты той или иной формы, можно получить октавное тремоло или тембровое вибрато.

Удвоение крайнего нижнего голоса на октаву вниз выполняется по схеме, в которой вместо прямого выбирания (выделение крайней правой клавиши) применяется обратное выбирание (выделение крайней левой клавиши) (рис. 20).

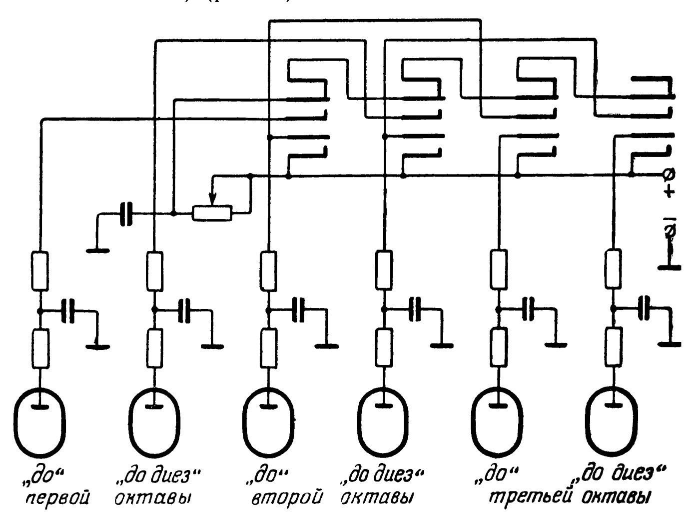


Рис. 20. Схема устройства для удвоения мелодии на октаву вниз.

Для удвоения баса на октаву вниз можно применить такую же схему или более простое устройство, состоящее из октавного делителя частоты. В этом случае партия баса должна быть одноголосной.

Другая группа устройств для выделения отдельных голосов отличается тем, что в ней возможно выделение любого голоса (верхнего, нижнего или среднего). Для решения такой задачи под каждой клавишей должны находиться два регулятора уровня громкости. Каждый из них может представлять собой переменные индуктивность, емкость или сопротивление. На рис. 21 показано такое устройство с управлением громкостью путем изменения индуктивности катушек L_1 и L_2 сердечниками *1* и *2*. Катушка L_1 выполняется так, чтобы громкость была близка к максимальной до начала действия пружинящего упора *П*, а затем после дальнейшего движения пальца она возрастала бы незначительно. Сердечник *2* должен быть устроен так, чтобы весь диапазон изменения громкости равномерно распределился с момента действия упора до полного прожима клавиши. Все ка-

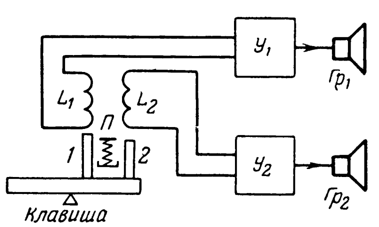


Рис. 21. Схема устройства с катушками индуктивности для тембрового выделения любого голоса.

тушки L_1 присоединяются к входу усилителя $У_1$, а все катушки L_2 — к входу усилителя $У_2$. Подбор частотных характеристик позволяет при данном спектре получить различные тембры в громкоговорителях $Гр_1$ и $Гр_2$, подключенных соответственно к усилителям $У_1$ и $У_2$.

Второй вариант такого устройства отличается тем, что тембровое выделение любого голоса в нем обеспечивается не при помощи плавного изменения индуктивности, емкости или сопротивления, а благодаря применению обычных релейных контактов, установлен-

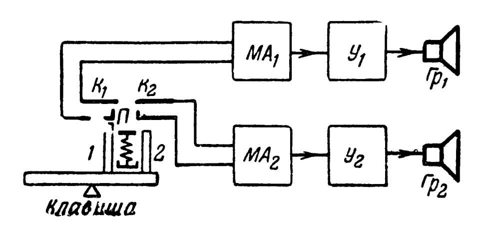


Рис. 22. Схема устройства с контактами для тембрового выделения любого голоса.

ных над концом клавиши (рис. 22). Контакты $К_1$ замыкаются до начала действия пружины $П$, а контакты $К_2$ лишь в конце хода клавиши. Каскады $МА_1$ и $МА_2$ обеспечивают мягкую атаку звука. Усилители $У_1$ и $У_2$ снабжаются регуляторами частотных характеристик,

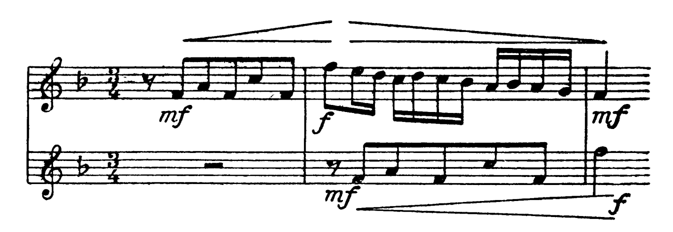


Рис. 23. Образец двухголосной полифонической музыки.

придающих особый тембр выделяемому голосу. Каждый клавишный генератор должен быть соединен со входами обоих манипуляторов.

Первые опыты с устройством для выделения любого голоса показали наличие некоторой опасности резкого изменения тембра при включении второго контакта. При этом получается нечто подобное слогу «уа». Кроме того, исполнение мелодии и аккомпанемента разными тембрами в этом случае оказывается более трудным, чем с устройством для выделения крайних голосов. Тем не менее устройства для выделения любого голоса при их дальнейшем развитии могут дать в руки музыканта более совершенные средства для выразительного исполнения.

Таким образом, намечен ряд путей для того, чтобы электроорган звучал как оркестр. На двух мануалах и педальной клавиатуре можно получить одновременно семь тембров. Близка к решению проблема формирования синтетического унисона. Однако надо различать имитацию оркестра в гармонии и в полифонии. Нам кажется, что в первом случае действительно удастся при исполнении на одном электрооргане получить нечто подобное звучанию оркестра. Мало того, отдельные исполнители этого оркестра, управляемого одним человеком, будут играть всегда вместе.

Но с полифонией дело обстоит гораздо сложнее. Здесь уже, пожалуй, не стоит говорить о возможности имитации оркестра на одном инструменте с одним исполнителем. Рассмотрим сперва образец двухголосной полифонической музыки (рис. 23). Когда этот отрывок исполняется двумя музыкантами, то каждый из них может вложить все мастерство в исполнение своей партии. А ведь полная полифония охватывает не два, а четыре, а то и шесть голосов. Это значит, что один человек никогда не может полноценно заменить оркестр, так же как и оркестр далеко не всегда может заменить виртуоза-солиста.

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ ИСПОЛНИТЕЛЯ

В электронных музыкальных инструментах используются некоторые приемы упрощения техники исполнения, аналогичные приемам, применяемым в обычных инструментах.

Известно, что для того чтобы сыграть интервал октавы на рояле, надо ударить две клавиши одновременно первым и пятым пальцами. При этом исполнение мелодии приемом легато (плавный переход от одного звука к другому) оказывается почти невозможным. Для того чтобы сыграть на рояле мелодию легато октавами, надо занять две руки.

На орга́нах обычного типа и фисгармониях существуют так называемые регистры. Регистр чаще всего представляет собой кнопку, которая при перемещении ее в сторону исполнителя (на себя) служит для приведения в действие механического устройства, включающего ту или иную комбинацию органных труб. Если при помощи регистра включены трубы, частоты которых находятся в октавном соотношении, то, нажимая одну клавишу, можно получить звучание интервала октавы. Это позволяет получить октавное удвоение мелодии без удвоения числа занятых пальцев.

В электронных орга́нах трубы заменяются генераторами и вместо механического включения труб применяется включение электрических контактов, расположенных под клавишами. Для получения интервала октавы при нажиме на одну клавишу число контактов удваивается. Такое устройство используется в электромеханическом орга́не фирмы Хаммонд (США).

Для получения мягкой атаки (мягкого возникновения звука) применяются манипуляторы на полупроводниковых диодах или на лампах тлеющего разряда. Бесконтактное включение основных и октавных звуков с емкостной связью между вспомогательным генератором и лампой тлеющего разряда использовано в «ионике». Этот электромузыкальный инструмент, выпускаемый промышленностью ГДР, широко используется в наших эстрадных оркестрах

и ансамблях. Следует, однако, отметить, что порог зажигания газоразрядной лампы недостаточно устойчив, поэтому громкость звучания отдельных звуков инструмента оказывается не равномерной.

Интересные возможности для исполнения беглых пассажей (гамм, арпеджио-трезвучий и др.) представляют устройства для игры методом глиссандо. Этим словом обозначают игру путем скользящего движения пальца по струне, в результате чего получается плавное изменение высоты тона. На рояле игра способом глиссандо выполняется путем скользящего движения ногтя по белым клавишам. В этом случае с помощью глиссандо можно очень быстро сыграть гамму «до мажор». Однако постоянная настройка фортепиано лишает исполнителя возможности играть этим же способом другие гаммы или трезвучия.

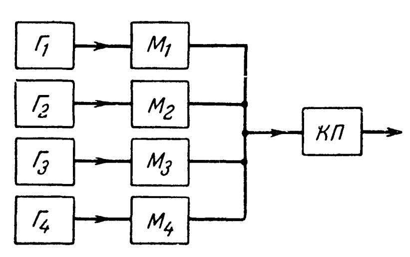


Рис. 24. Блок-схема устройства для игры приемом глиссандо.

Один из основоположников отечественной электромузыки В. А. Гуров еще в 30-х годах показал, какие новые возможности дает музыканту применение электрических контактов вместо механических устройств. А. А. Володин и А. А. Иванов развили эти методы и сумели довести их до практической реализации. В разработанных ими грифовых электромузыкальных инструментах они применили так называемый хроматический гриф, состоящий из контактирующей поверхности, под которой располагались контакты (по 12 контактов для каждой октавы). Проводя пальцем вдоль грифа, исполнитель мог сыграть последовательно все звуки, соответствующие черным и белым клавишам, с такой быстротой, которая оказывалась недоступной для самого выдающегося пианиста-виртуоза. Введение трафаретов из изолирующего материала позволило пропускать ненужные звуки, и таким образом открылись возможности сверхвиртуозного исполнения беглой музыки.

В дальнейшем было предложено заменить выключение ненужных звуков включением звуков, необходимых для исполнения данного пассажа. Блок-схема такого устройства показана на рис. 24. Генераторы одноименных звуков многоголосного клавишного электромузыкального инструмента $Г_1$—$Г_4$ соединены с манипуляторами $М_1$—$М_4$. Выходы манипуляторов одноименных звуков (например, всех «фа») подключены к катодному повторителю *КП*, в котором имеется устройство для мягкой атаки звука. На рис. 24 показана одна группа из генераторов, манипуляторов и катодного повторителя одноименных звуков. В полной схеме клавишного инструмента таких групп должно быть двенадцать.

Все катодные повторители одноименных звуков включаются только при нажиме соответствующей клавиши (при клавиатуре из двенадцати клавиш). При этом включаются только те звуки, которые нужны для данного пассажа. Включение всех одноименных звуков при помощи одного контакта, находящегося под клавишей, намного упрощает переход с одного пассажа на другой.

Само глиссандирование производится на грифе, на котором все контакты расположены в хроматическом порядке. Максимальная скорость исполнения гамм и арпеджио-трезвучий может быть достигнута при длине грифа не более 5—6 *см* на октаву.

Применение многоголосного хроматического грифа дает возможность исполнения многоголосного и встречного глиссандо. Наличие двух и более грифов при обратном порядке чередования звуков на одном из них (низкие звуки справа, высокие — слева) позволяет исполнять встречное глиссандо пальцами одной руки.



Рис. 25. Пример ломаного глиссандо.

В электроорганах с индивидуальными манипуляторами для каждой клавиши глиссандо будет звучать как на арфе (в момент возникновения звука на последующей струне тон предыдущей струны плавно затухает). При удвоении числа контактов на грифе можно, перемещая палец в одном направлении, получить ломаные пассажи. Пример такого ломаного глиссандо приведен на рис. 25.

Таким образом, метод глиссандо в электронных инструментах создает новые возможности виртуозной игры, совершенно недоступные при игре на обычных музыкальных иструментах.

Повышенные скорости исполнения в некоторых случаях могут быть получены при использовании коммутаторов, применяемых в автоматических электромузыкальных инструментах. В устройстве для передачи позывных сигналов Всесоюзного радио (отрывка мелодии И. О. Дунаевского «Широка страна моя родная»), например, вместо клавиатуры или грифа работает оригинальный коммутатор, в котором вращающийся магнит, проходя мимо контактов, снабженных выступами, замыкает контакты, не прикасаясь к ним. Естественно, что с помощью дополнительных переключателей на такой коммутатор можно завести цепи манипуляторов, на которые подаются соответствующие звуковые частоты. А это даст возможность возложить исполнение какого-то повторяющегося музыкального отрывка (например, «баса-остинато») на электромеханическое устройство, в то время как музыкант-исполнитель может играть на этом фоне двумя руками на ручных клавиатурах (мануалах) и левой ногой на ножной клавиатуре (педали, по органной терминологии).

Для выразительного исполнения музыки необходимо выполнить хотя бы одно из следующих условий: 1) выделение мелодии и ослабление аккомпанемента; 2) независимое управление громкостью каждого звука. Устройства для тембрового и динамического выделения мелодии были описаны выше, поэтому рассмотрим, каким же образом можно осуществить независимое управление громкостью каждого звука электрооргана или электророяля. Это управление может осуществляться изменением емкости, индуктивности, взаимоиндукции или сопротивления.

В первом электромузыкальном инструменте — терменвоксе автор его Л. С. Термен еще в 1921 г. применил бесконтактное управление громкостью путем изменения расстояния между кистью руки и металлическим кольцом, входящим в колебательный контур высокочастотного генератора, т. е. изменением емкости контура (емкость конденсатора контура 15—25 *пф*).

В дальнейшем пытались применить емкостное управление громкостью и в клавишных электромузыкальных инструментах. В некоторых конструкциях конденсатор переменной емкости, помещенный под клавишей, использовался для связи между генератором звуковой частоты и тембровым устройством. Однако из-за большого емкостного сопротивления на низких частотах такая схема получалась очень чувствительной к внешним электрическим полям и поэтому клавишный конденсатор надо было очень хорошо экранировать. Более рациональной в этом случае может оказаться модуляция высокой частоты клавишными генераторами или делителями. Тогда тот же клавишный конденсатор будет представлять меньшее сопротивление, а это значительно облегчит борьбу с наводками.

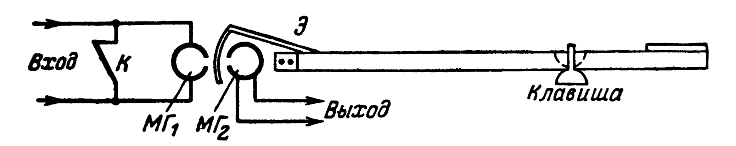


Рис. 26. Регулятор громкости с магнитными головками и подвижным экраном.

Трудно сказать, какому из двух высокочастотных вариантов следует отдать предпочтение. Можно только сказать, что емкостное бесконтактное управление может со временем вытеснить ненадежные контактные клавиатуры и педали с трущимися контактами.

Рассмотрим теперь способы бесконтактного управления уровнем громкости путем изменения индуктивности или взаимоиндукции. Известны, например, конструкции педалей, в которых одна из обмоток трансформатора звуковой частоты перемещается относительно другой обмотки. Подвижная обмотка соединяется с другими элементами схемы при помощи гибких проводников, которые, к сожалению, довольно быстро выходят из строя (перетираются).

Более надежным оказался регулятор громкости с магнитными головками и подвижным экраном (рис. 26). В этой конструкции магнитные головки $МГ_1$ и $МГ_2$ обращены зазорами друг к другу. В исходном положении при поднятой клавише между головками находится экран из пермаллоя *Э*. По мере нажима на клавишу экран выходит из зазора, между головками возникает связь и на выходе клавишного трансформатора появляется переменное напряжение от соответствующего клавишного генератора. При тщательной регулировке динамический диапазон такого клавишного трансформатора можно довести до 55—60 *дб*. Однако в процессе передачи энергии с одной магнитной головки на другую уровень напряжения снижается в 30—40 раз. Тороидальная форма сердечни-

ков головок позволяет получить заметное снижение уровня помех, воздействующих на обмотки. Контакт *К* служит для замыкания входной цепи с целью устранения помех от генераторов.

В электрооргане при наличии нескольких десятков работающих генераторов динамический диапазон каждого клавишного регулятора громкости должен быть не меньше 75—80 *дб*. Тогда суммарный уровень помехи на выходе инструмента при игре фортиссимо можно довести до уровня порядка минус 55—60 *дб*. Помеха от генераторов («кухня») представляет собой все звуки органа как бы включенные одновременно. Для полного устранения помехи можно рекомендовать генератор, совмещенный с манипулятором. Схема такого устройства была описана выше.

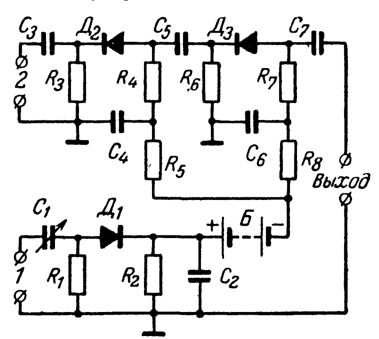


Рис. 27. Схема емкостно-резистивного управления уровнем громкости.

В некоторых типах электроорга́нов для исполнения нюансов (тонких динамических оттенков) применялись переменные резисторы, сопротивление которых зависит от силы нажима на клавишу. Однако требования к клавишному резистору оказываются настолько жесткими, что ни один из промышленных малогабаритных резисторов не может обеспечить длительной работы инструмента.

Более надежным можно считать фоторезистор, сопротивление которого зависит от интенсивности освещения. В этом случае по мере нажима на клавишу поднимается заслонка, помещенная между лампочкой накаливания и фоторезистором. Такое бесконтактное управление сопротивлением фоторезистора не позволяет, однако, исполнять «репетиции» (так называют быстрое повторение одного и того же звука).

Интересной попыткой решения трудного вопроса о клавишном управлении уровнем громкости можно считать применение проводящей резины. Сопротивление такого резистора зависит от давления, которое прилагается к куску проводящей резины. К сожалению, мы не располагаем данными о применении этого способа в каком-либо конкретном музыкальном инструменте.

Для увеличения динамического диапазона клавишного регулятора уровня громкости можно применить одновременно два из описанных способов. Так, например, в инструменте «ионика» (ГДР) применена переменная емкостная связь между вспомогательным генератором высокой частоты (примерно 140 *кгц*) и газоразрядной лампой, сопротивление которой зависит от напряжения высокой частоты. В этом случае мы имеем дело с комбинированным емкостно-резистивным управлением громкостью.

Одна из разновидностей емкостно-резистивного управления громкостью применялась в лабораторных работах Института звукозаписи. На рис. 27 показана принципиальная схема такого устройства. На зажимы *1* подается напряжение от вспомогательного ге-

нератора высокой частоты (порядка 1 *Мгц*). Конденсатор C_1 связан с клавишей таким образом, что по мере нажима на клавишу его емкость увеличивается и напряжение высокой частоты на резисторе R_1 возрастает. Это напряжение затем выпрямляется диодом $Д_1$ и на резисторе R_2, блокированном конденсатором C_2, появляется постоянное напряжение, величина которого определяется положением клавиши.

На зажимы *2* подается напряжение звуковой частоты, которое через конденсатор C_3 поступает на резистор R_3. Батарея *Б* включена так, чтобы при поднятой клавише на диоды $Д_2$ и $Д_3$ подавалось обратное напряжение. Сопротивления резисторов R_4 и R_7 должны быть примерно в 50 раз меньше обратного сопротивления диодов $Д_2$ и $Д_3$. По мере увеличения нажима на клавишу и, следовательно, увеличения емкости конденсатора C_1 обратное напряжение на этих диодах снижается, а при полном нажиме на клавишу на диоды поступает прямое напряжение и внутреннее сопротивление их падает. В результате действия двух делителей напряжения, образуемых диодом $Д_2$ с резистором R_4 и диодом $Д_3$ с резистором R_7, динамические диапазоны изменений напряжения звуковой частоты складываются, достигая примерно 100 *дб*. Конденсаторы C_3, C_5 и C_7 служат для того, чтобы пропустить в последующие элементы схемы только переменную составляющую. Развязывающие цепи, состоящие из резисторов R_5, R_8 и конденсаторов C_4 C_6, установлены для регулировки возникновения и затухания звука.

Несмотря на наличие большого количества различных вариантов бесконтактных клавишных регуляторов, до сих пор еще не создана достаточно простая конструкция такого устройства, которое обеспечивало бы надежную работу важнейшего звена электронного орга́на — клавиатуры.

Все описанные здесь устройства для управления уровнем громкости могут быть применены, естественно, и в громкостных педалях.

Конструирование педальных и клавишных регуляторов уровня громкости можно считать одной из важнейших задач в создании электронных музыкальных инструментов. Над решением этой задачи могут плодотворно поработать не только профессионалы-конструкторы, но и энтузиасты-радиолюбители.

Вопросы гибкого управления тембрами продолжают волновать многих конструкторов. Обычно у органиста во время игры заняты обе руки и по крайней мере одна нога. Для удобства управления в органе фирмы Хаммонд (США) была применена клавиатура, состоящая из тринадцати клавиш. На этой клавиатуре клавиши «до диез», «ре диез», «фа диез», «соль диез» и «си бемоль» были сделаны белыми, а остальные черными. Это, конечно, облегчило управление тембрами и создало возможность их нотного обозначения. Однако далеко не всегда в процессе игры удается освободить руку для того, чтобы переключить тембр. Для наиболее оперативного управления тембром, по-видимому, целесообразно использовать появившееся сравнительно недавно голосовое управление тембрами. Такие голосовые переключатели уже запатентованы в ряде стран. Их применение в области электромузыки может существенно улучшить управление тембрами во время игры.

В инструментах с одним или двумя мануалами (ручными клавиатурами), но без педали (ножной клавиатуры) можно менять тембры, нажимая левой ногой на разные кнопки. Этот способ применялся в электронном гармониуме Института звукозаписи. При конструировании такого кнопочного устройства необходимо, конечно, учитывать, чтобы в момент смены тембров не было шума или стука.

Можно еще упомянуть о плавном изменении тембра при помощи ножной педали, применявшееся в отечественных электромузыкальных инструментах — экводине и компаноле. В экводине А. А. Володина педаль служила для регулировки прохождения высоких обертонов. В компаноле при помощи педали можно было плавно переходить от одной форманты к другой. Медленное изменение тембра создавало в этом случае довольно колоритное звучание, напоминающее индийские музыкальные инструменты.

ШУМОВЫЕ, УДАРНЫЕ И РИТМИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТЫ

В процессе шумового оформления спектаклей, кинофильмов и радиопостановок обычно применяются механические устройства, с помощью которых образуются необходимые шумы. Для имитации воющего ветра, например, используют так называемый эолифон, в котором по окружности барабана, вращаемого вручную, имеются перекладины с лежащей на них тканью. Таким путем на эолифоне получают звучание воющего ветра. Если в спектакле на протяжении целого действия за сценой должен звучать ветер, то шумовик, вращающий эолифон, к концу этого действия окажется совершенно обессиленным. Эолифон, кроме того, не дает возможности оперативного управления звуковысотной интонацией ветра и его громкостью, а из-за недостаточно оперативного управления шумом кульминация на кадре кинофильма может не совпасть с кульминацией, получаенной на эолифоне.

Строго говоря, не всякий вой ветра можно называть шумом. Если шумовая полоса не превышает 12—15%, то можно различить небольшие музыкальные интервалы, вплоть до полутона. Для того чтобы в дальнейшем обеспечить возможность дифференциации между шумом, лишенным звуковысотной окраски, и шумом, имеющим ее, мы введем понятие о звукошуме. Звукошумом мы будем называть такой шум, при котором интервал полутона еще можно определить на слух, хотя бы и неточно. Область промежуточных явлений между звуком и шумом еще мало изучена и недостаточно используется в практике работы наших театров, киностудий, радио и телецентров. Между тем она охватывает не только такие интересные звучания, как унисон и поющий ветер, но также сулит богатейшие возможности в отношении разработки новых звукошумовых тембров.

Первый шумовой электронный инструмент электроэолифон (шумофон) был выполнен в 1957 г. в Институте звукозаписи. На рис. 28 приведена схема этого инструмента. Шумовой генератор *ШГ* выполнен на специально подобранном для этого транзисторе типа П13. Подобрать транзистор для шумового генератора можно при помощи простейшей схемы, приведенной на рис. 29. При этом надо отдать предпочтение транзисторам, дающим ровный шум, сходный с шумом примуса.

Выход шумового генератора (рис. 28) соединен с сеточной цепью лампы (6Ж4) первого каскада усилителя ультразвуковой частоты $УЗЧ_1$. В анодной цепи этой лампы включены два колебательных контура, резонансные частоты которых находятся в октавном соотношении. Обычно они настраиваются на частоты 20 и 40 *кгц*. На те же частоты настроены контуры в сеточной и анодной цепях лампы (6Ж4) второго каскада $УЗЧ_2$.

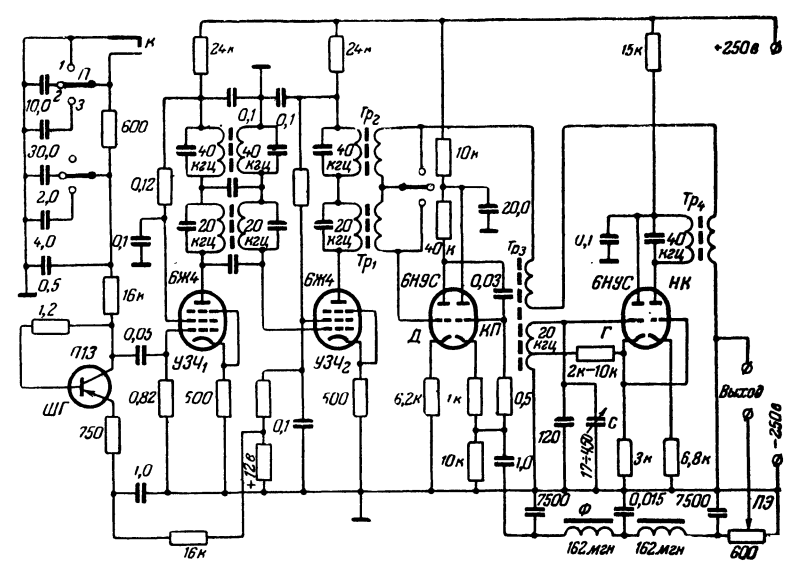


Рис. 28. Принципиальная схема электроэолифона.

Генератор *Г*, работающий на левом (по схеме) триоде лампы 6Н9С, служит для изменения ультразвуковой частоты в диапазоне от 20 до 24 *кгц* конденсатором переменной емкости *С*. Напряжение от этого генератора через трансформатор $Тр_3$ поступает на детектор *Д* (левый триод лампы 6Н9С). Сюда же подаются напряжения шумовых полос, выделенных трансформаторами $Тр_1$ и $Тр_2$.

Для изменения высоты звукошума исполнитель при помощи рычага изменяет емкость конденсатора *С*, в результате чего после детектора выделяется узкая полоса шума, которая перемещается в пределах диапазона звуковых частот.

Для получения второго полосового обертона на детектор подается напряжение второй гармоники частоты генератора *Г*. Эта гармоника формируется и выделяется трансформатором $Тр_4$, включенным на выходе нелинейного каскада *НК* (правый триод лампы 6Н9С). В результате биений между второй гармоникой частоты генератора *Г* и второй гармоникой основной шумовой полосы, выделенной трансформатором $Тр_2$, оказалось возможным сформировать октавное полосовое звучание.

Контакты *К* и переключатель *П* служат для управления устанавливающимися процессами (атакой звука и его затуханием). При установке переключателя в положение *1* электроэолифон звучит непрерывно, что обычно используется для имитации шума ветра. В этом случае педаль эолифона *ПЭ* служит как для регулировки громкости, так и для убирания звука.

Перемещая переключатель *П* в положение *2*, мы прекращаем подачу напряжения на коллектор транзистора, и шумовой генератор перестает работать. Отрывисто ударяя по контактам *К*, можно получить игру способом «стаккато». При этом время атаки и затухания звукошума определяется постоянными времени соответствующих цепей *RC*. На низких звукошумах таким образом удается получить имитацию взрыва с переменной интонацией, которая изменяется при помощи рычага, связанного с конденсатором *С*.

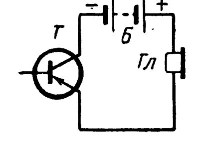


Рис. 29. Схема для подбора шумящего транзистора.

Правый триод лампы 6Н9С (третья слева) включен по схеме катодного повторителя *КП* для согласования детекторного каскада *Д* с фильтром нижних частот *Ф*, установленного для подавления ультразвуковой частоты.

Электроэолифон впервые прозвучал в кинофильме «Сорок первый», где ветер как бы пел мелодию партизанской песни. В дальнейшем инструмент использовался при озвучивании нескольких десятков кинофильмов, применялся в записях для ряда спектаклей. Дирижеры: Г. Рождественский, К. Кондрашин, А. Жюрайтис и

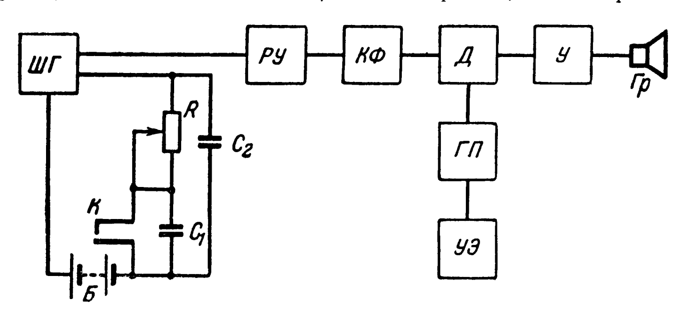


Рис. 30. Блок-схема ударно-шумового инструмента с переменной интонацией.

французский дирижер Р. Бенци применяли электроэолифон в симфонических произведениях Равеля и Рихарда Штрауса.

В одной из конструкций шумового инструмента было дано интересное решение вопроса о соединении четкой интонации по высоте тона в момент атаки звука с более расплывчатой интонацией в момент его затухания. Блок-схема такого инструмента приведена на рис. 30. Шумовой генератор *ШГ* соединен с входом резонансного усилителя *РУ*. В этом генераторе имеется устройство для управления устанавливающимися процессами, состоящее из переменного резистора *R* и конденсаторов C_1, C_2. Характер возникно-

вения звука при этом зависит от постоянной времени *RC*, определяемой сопротивлением резистора *R* и емкостью конденсатора C_2. От емкости конденсатора C_1 зависит только время затухания шумового сигнала, подаваемого на вход резонансного усилителя. Последний связан с кварцевым фильтром *КФ*, выход которого соединен с детектором *Д*. На детектор, кроме того, воздействует напряжение от генератора переменной частоты *ГП*. Частота этого генератора изменяется при помощи управляющего элемента (грифа или клавиатуры) *УЭ*.

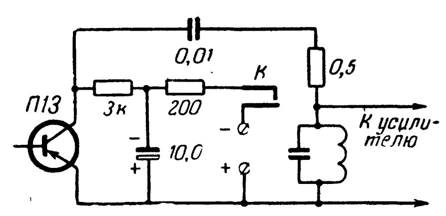


Рис. 31. Простая схема ударно-шумового инструмента.

Допустим, что сопротивление резистора *R* имеет минимальную величину. Тогда при замыкании контактов *К* на усилитель *РУ* и фильтр *КФ* будет подаваться импульс напряжения с крутым фронтом нарастания, и в кварцевом резонаторе фильтра возникнут затухающие колебания на собственной частоте f_1. Биения между двумя частотами, одна из которых f_1 поступает с выхода кварцевого фильтра, а другая f_2 от генератора переменной частоты, позволяют получить в громкоговорителе *Гр* (после усилителя *У*) затухающий звук нужной высоты и небольшой длительности, определяемой добротностью кварца. Но поскольку контакты *К* блокированы конденсатором C_1, то в тот момент, когда колебания, возникшие в результате ударного возбуждения кварца, прекратятся, белый шум, убывающий по амплитуде, будет поступать на вход кварцевого фильтра через резонансный усилитель. Необходимое время этого процесса устанавливается подбором достаточной емкости конденсатора C_1.

Работа кварцевого фильтра в этом устройстве отличается тем, что если в первый момент кварц работает как вибратор с электрическим ударным возбуждением, то в дальнейшем он действует в качестве узкополосного фильтра. Это позволяет получить резкое возникновение звука с последующим быстрым затуханием четко интонированного тона и более медленным затуханием расплывчатого тона, образованного узкополосным шумовым спектром.

При большой добротности колебательных контуров резонансного усилителя можно обойтись без кварцевого фильтра. В этом случае ширина полосы шума может изменяться путем настройки контуров. Средняя частота шумовой полосы и диапазон частот генератора, соединенного с детектором, не отличаются от частот ранее описанного электроэолифона (шумофона).

Более простая схема ударно-шумового инструмента с «шумовым» транзистором П13 показана на рис. 31. Формирование зву-

кошума здесь осуществляется непосредственно по звуковой частоте без применения гетеродинирования.

Особое внимание надо в шумовых электроинструментах уделять качеству колебательных контуров. Желательно, чтобы их добротность была достаточно высокой. Кроме того, контуры должны быть стабильными по частоте.

Не лишен интереса вопрос о применении в шумовых электроинструментах электромеханических фильтров, в частности камертонных и язычковых.

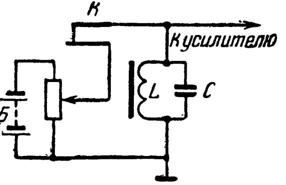


Рис. 32. Схема инструмента Миллера.

Говоря о новых электромузыкальных инструментах, нельзя забывать и о старых, особенно о тех, которые можно значительно улучшить, применяя новые приемы и методы. Еще в 1914 г. был предложен простейший электромузыкальный ударный инструмент, состоявший из небольшой гальванической батареи *Б* и колебательного контура *LC*, настроенного на нужную звуковую частоту (рис. 32). При размыкании контакта *К* в контуре возникают затухающие колебания. Попытки выполнения инструмента с катушками *L* на стальных сердечниках не дали хороших ре-

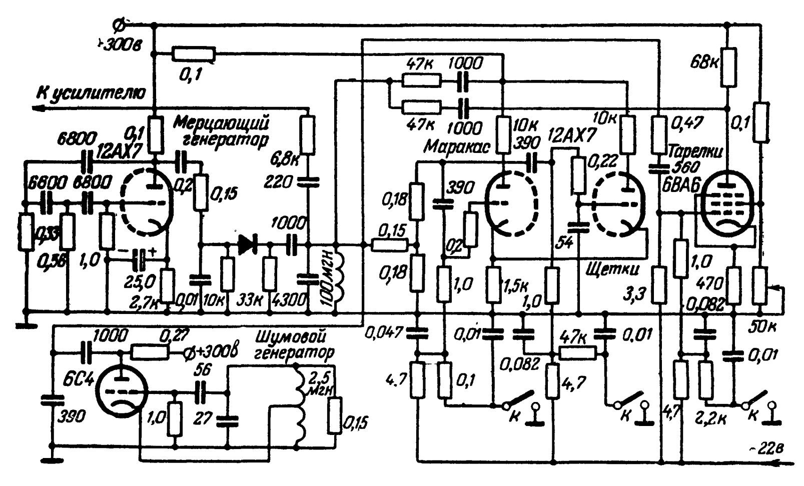


Рис. 33. Схема ритмического симулятора.

зультатов из-за плохой стабильности индуктивности. С появлением альсиферовых тороидальных сердечников оказалось возможным получить достаточную стабильность такого инструмента по частоте.

Интересной особенностью такого электронного ударного инструмента можно считать отсутствие в нем ламп или транзисторов, что значительно повышает его надежность. Применяя в нем вместо одного два связанных колебательных контура, можно получить звуки, напоминающие контрабас в басовом регистре и барабанчик

«тимплипито» в среднем диапазоне частот. Отключив источник возбуждения контура и подавая на контур импульсы от релаксационного генератора (например, от блокинг-генератора или мультивибратора), можно получить очень интересное тремоло с управляемой частотой.

Среди новых электронных инструментов можно упомянуть ритмический симулятор, выпускаемый американской фирмой Вурлитцер (рис. 33). Этот симулятор содержит шумовой генератор, соединенный с каскадами Маракас, щетки и тарелки. Для исполнения повторяющихся звуков на щетках применяется «мерцающий генератор», модулирующий каскады щеток и тарелок, которые в исходном состоянии заперты. Для каскада тарелок устанавливается большое время затухания. Все каскады симулятора запираются после кратковременного включения соответствующего контакта K.

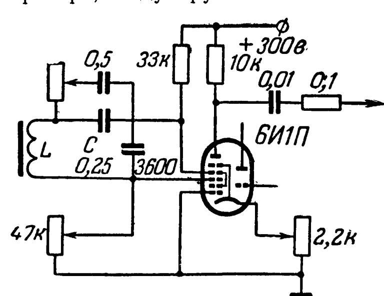


Рис. 34. Схема имитатора птичьего пения.

В этом электронном инструменте, к сожалению, отсутствует зависимость громкости от силы удара, что и является его большим недостатком по сравнению с механическими и электромеханическими музыкальными инструментами.

Для имитации птичьего пения можно применять как ламповые, так и транзисторные схемы. На рис. 34 показана принципиальная схема однолампового имитатора, работающего на гептодной части лампы типа 6И1П. Если исключить из схемы цепь LC, то останется обычный релаксационный генератор звуковой частоты, который может работать либо на гептоде, либо на тетроде. При включении же цепи LC, помимо звуковой, генерируется также инфразвуковая частота, модулирующая звуковую частоту порядка 1 *кгц*. Индуктивность катушки L должна быть достаточной для генерации частот в пределах 6—20 *гц*.

Аналогичный имитатор удается выполнить примерно на трех транзисторах, включенных в схему мультивибратора с эмиттерным повторителем в цепи обратной связи. В этом случае удается обеспечить одновременную генерацию звуковой и инфразвуковой частоты в одном генераторе.

АДАПТЕРИЗОВАННЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

В технике звукозаписи термин «адаптер» уже давно заменен термином «звукосниматель». Не вдаваясь в обсуждение вопроса о целесообразности такой замены, мы должны констатировать тот факт, что в сфере электромузыки эта замена оказалась слишком неудобной. Если вместо слова «адаптер» мы можем написать «звукосниматель», то как же именовать впредь «адаптеризованные инструменты»? Пока выход еще не найден и мы продолжаем пользоваться старой терминологией, сохраняя термин «адаптер» только применительно к музыкальным инструментам.

Что же нового появилось в последнее время в адаптеризованных инструментах?

В отношении красоты звучания здесь в первую очередь придется упомянуть о камертонном пианино.

Попытка построить пианино, которое не требовало бы настройки, была предпринята еще в конце прошлого столетия. В пианино вместо струн были установлены камертоны, по одному на каждую клавишу. При ударе по клавише молоточек возбуждал камертон, который начинал звучать. При снятии пальца с клавиши камертон демпфировался и звук прекращался. При нажиме на правую педаль демпферы отходили от камертона и его звучание сохранялось до момента полного затухания. Это давало эффект, аналогичный действию правой педали обычного фортепиано с той разницей, что звук тянулся намного дольше (особенно в верхнем регистре).

Адиафон, так назывался этот инструмент, звучал хорошо, но очень слабо. Применение деки, сходной с резонатором пианино, уменьшало время звучания камертонов и все же не давало достаточно усиления звука. В результате адиафон не получил практического применения в музыкальной практике.

С 1954 г. в Институте звукозаписи проводилась работа по адаптеризации камертонного пианино. В качестве адаптеров применялись электромагниты с катушками от головного телефона ТА-4. Адаптеры были соединены последовательно и включены на вход звуковоспроизводящего агрегата, состоящего из усилителя и громкоговорителя.

Звучание инструмента оказалось неважным. Это вызывалось двумя причинами. Во-первых, начало звука больше всего напоминало удар по рельсу, а во-вторых, на протяжении длительного промежутка времени был слышен первый негармонический обертон камертона, резко нарушающий слитность тембра.

Для устранения этих недостатков весь диапазон камертонного пианино пришлось разбить на следующие поддиапазоны: 1) от «до» большой до «ре» малой октавы; 2) от «ми бемоль» малой до «ре» первой октавы; 3) от «ми бемоль» первой до «ля» первой октавы; 4) от «си бемоль» первой до «ми» второй октавы; 5) от «фа» второй до «соль» третьей октавы; 6) от «ля бемоль» третьей до «до» пятой октавы.

Каждый поддиапазон имел свой усилитель, во втором каскаде которого был включен колебательный контур, настроенный примерно на среднюю частоту поддиапазона. Вследствие небольшой добротности колебательных контуров падение переменного напряжения, поступающего с выходов усилителей, от середины данного поддиапазона к его краям было не очень велико и компенсировалось регулировкой расстояния между камертонами и адаптерами.

В итоге принятых мер удалось получить очень красивое звучание. В нижнем регистре оно несколько напоминало не то контрабас, не то литавры. В средней части диапазона тембр получился, пожалуй, наиболее оригинальным. Прозрачные верха напоминали какие-то колокольчики или челесту.

Вопреки многим высказываниям о том, что синусоидальные тембры плохи, в камертонном пианино это отнюдь не ощущалось. В частности, именно поэтому все аккорды зазвучали более чисто, чем на других клавишных инструментах. Рассмотрим, почему же так получилось?

Для этого надо провести анализ такого важного элемента минорного трезвучия, как малая терция. Если в басу звучит «до» большой октавы, а звук «ми бемоль» взят в первой октаве, то биения, возникающие между пятым обертоном звука «до» и звуком «ми бемоль», сильно загрязняют звучание. Отсутствие обертонов в камертонном пианино позволило устранить это противоречие.

Очень интересной оказалась атака звука. Удар молоточка по камертону вызывает в первый момент появление сплошного спектра, который ограничивается колебательным контуром. Таким образом,

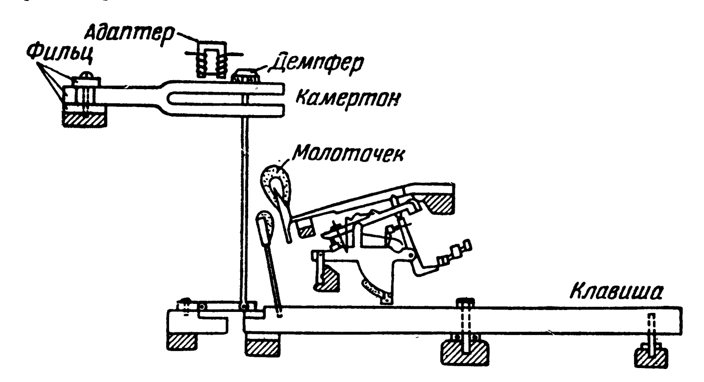


Рис. 35. Основа камертонного пианино.

в процессе атаки появляется как бы полоса частот, группирующихся возле резонансной частоты контура, переходящая затем в чисто интонированный затухающий звук.

Включение камертонного пианино на аппарат для формирования унисонного вибрато позволило еще более обогатить звучание инструмента. В итоге проведенной работы инструмент получил весьма благоприятные отзывы со стороны крупнейших музыкантов.

Однако, решив вопрос об устойчивости строя, конструкторы камертонного пианино не смогли добиться достаточно устойчивой громкости звучания камертонов. Оказалось очень трудным разрешить противоречие между необходимостью мягкого крепления камертона, с одной стороны, и стабильной работы молоточков и демпферов, с другой.

На рис. 35 показана основа камертонного пианино. При ударе по клавише молоточек возбуждает камертон. При поднятой клавише на камертон опускается демпфер, заглушающий колебания ветвей камертона. Верхняя ветвь камертона воздействует на адаптер, преобразующий механические колебания камертона в колебания электрического тока.

Ножка камертона не должна быть слишком жестко связана с основанием инструмента, так как в этом случае камертон теряет добротность и звук становится слишком коротким, а общее звучание инструмента оказывается невыразительным. Особенно трудным оказалось крепление больших камертонов, предназначенных для получения низких звуков.

В дальнейшем велась работа в направлении сокращения габаритов камертонов, что могло бы упростить их крепление и сделать их размеры более одинаковыми. Для этого предполагалось использовать один общий камертонный генератор, работающий на высокой частоте звукового диапазона, а вместо индивидуальных клавишных камертонных генераторов применить механическое возбуждение камертонов, частоты которых соответствуют частотам клавишных камертонных генераторов, описанных выше. Работа по конструированию этого инструмента не была закончена. Тем не менее она кажется весьма перспективной.

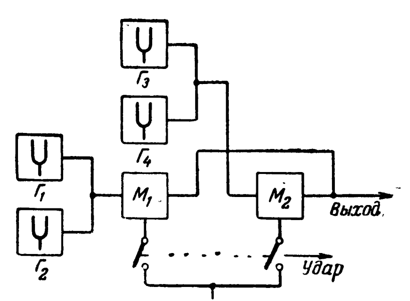


Рис. 36. Блок-схема электронного колокола.

Большое количество зарубежных патентов было взято на различные конструкции электроколоколов, которые оказываются гораздо компактней и легче обычных церковных звонниц.

В качестве вибраторов электроколоколов обычно применяются стержни, возбуждаемые ударом фортепианного молоточка. Такой стержень может представлять собой отрезок фортепианной струны, один конец которой жестко закреплен, а другой остается свободным. Выполненный в Институте звукозаписи опытный образец таких электроколоколов получил положительную оценку.

При исполнении аккордов на обычных колоколах возникает противоречие между их негармоническими обертонами и гармонией. Это противоречие не удалось устранить и при конструировании электроколоколов Института звукозаписи.

Можно наметить ряд путей для построения консонирующих колоколов, в первую очередь мажорных и минорных. Например, можно применить режекторные фильтры, подавляющие ненужные обертоны. Однако большое количество таких фильтров приводит к усложнению конструкции инструмента, увеличению его габаритов и веса. Кроме того, нельзя гарантировать стабильность частоты того или иного негармонического обертона, а без этого работа режекторного фильтра не будет достаточно эффективной.

Другой путь — синтезирование тембра колокола при помощи генераторов на электронных лампах или транзисторах кажется более перспективным. Проведенное С. Г. Корсунским изучение литературных данных и прослушивание показало, что тембр колокола имеет следующие характерные признаки: в момент атаки (возникновения) звука слышны очень высокие призвуки, резко возникающие и быстро затухающие (эти призвуки были названы «ударным тоном»); в звуке колокола имеется комбинационный разностный тон (основной тон), возникающий сравнительно быстро, но затухающий гораздо медленнее, чем ударный тон, и низкий гудящий басовый тон (третья составляющая колокола), возникающий после основного тона и звучащий дольше его. Помимо этого, в звуке колокола слышны тембровые биения.

Для электронного колокола были выполнены камертонные генераторы, обеспечивающие достаточную стабильность частоты биений. Кроме того, были применены манипуляторы, с помощью которых обеспечивались необходимые атака и затухание каждого тона. Блок-схема электронного колокола приведена на рис. 36. Здесь $Г_1$ и $Г_2$ — генераторы, образующие интервал тритона и соединенные с манипулятором $М_1$, а $Г_3$ и $Г_4$ — генераторы, образующие основной тон и биения и воздействующие на манипулятор $М_2$. Тембр, получаемый от генераторов $Г_3$ и $Г_4$, должен содержать меньшее количество обертонов по сравнению с тембрами генераторов $Г_1$ и $Г_2$. На рис. 37 показана принципиальная схема манипулятора электронного колокола.

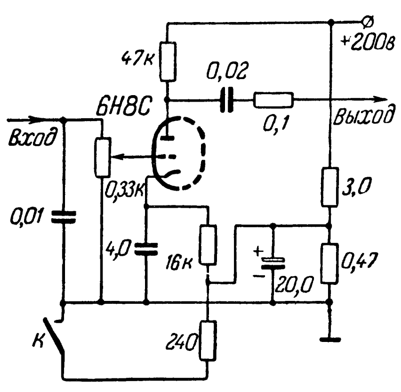


Рис. 37. Принципиальная схема манипулятора электронного колокола.

При адаптеризации струнных инструментов обычно отдается предпочтение адаптерам (звукоснимателям), преобразующим колебания струн. Дело в том, что при установке адаптера на деке все устройство начинает действовать подобно микрофону, а это приводит к значительному ограничению усиления.

В случае установки адаптера под струнами действие деки как элемента, формирующего тембр звука, становится очень слабым. Кроме того, игра способом легато оказывается менее выразительной, поскольку в процессе возникновения последующего звука предыдущий звук почти моментально исчезает.

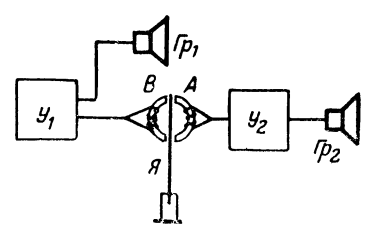


Рис. 38. Язычковый резонатор.

Для устранения этих недостатков адаптеризованных инструментов целесообразно применить язычковый резонатор. Этот резонатор должен иметь большое количество язычков, один из которых показан на рис. 38. Язычок *Я* снабжен электромагнитным возбудителем *В* и адаптером *А*. Напряжение на возбудитель подается с усилителя $У_1$, на вход которого подается напряжение от адаптеризованного инструмента. Напряжение с адаптера резонатора поступает на усилитель $У_2$ и громкоговоритель $Гр_2$.

Таким образом, при большом количестве язычков, по-видимому, окажется возможным сформировать тембр, имеющий специфику звучащей деки. Естественно, что весь язычковый резонатор должен быть помещен в ящик, стенки которого будут защищать язычки от воздействия звуков, возникающих в помещении.

Применяя до резонатора устройства для получения амплитудного или фазового вибрато, вероятно, окажется возможным получить унисонный характер звучания при игре на одном инструменте.

Надо сказать, что в последнее время тенденция к построению электромузыкальных инструментов на базе адаптеризации язычков отнюдь не уменьшилась.

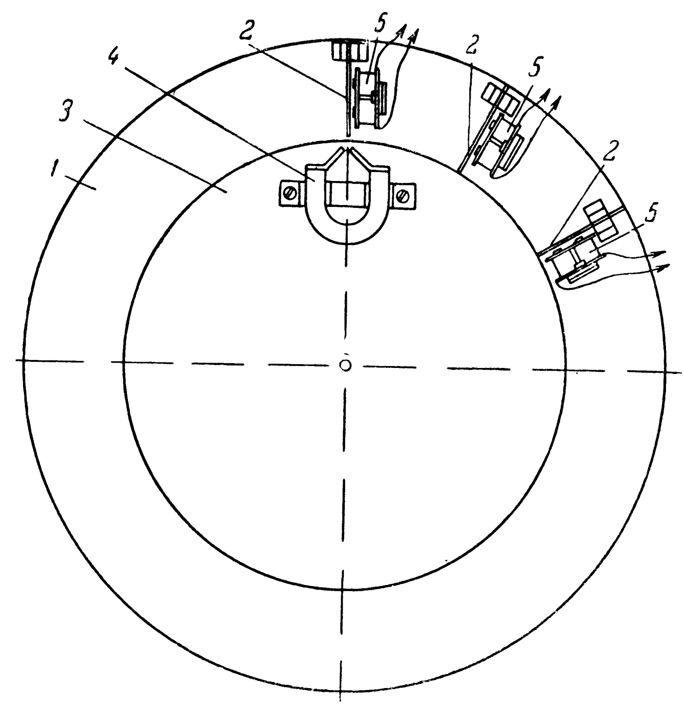


Рис. 39. Устройство для магнитного возбуждения язычка.

В ФРГ сравнительно недавно был выпущен «пианофон» — инструмент, в котором по сути дела был практически реализован изобретенный Е. А. Прохоровым и Н. А. Яковлевым «магнитный щипок». Сущность этого приема состоит в том, что в исходном состоянии клавиши соединенный с ней язычок прилипает к магниту, а при нажатой клавише этот язычок отрывается от магнита и приближается к адаптеру. Пианофон нашел распространение в джазовой музыке, но его недостатком оказалось отсутствие зависимости уровня громкости от силы удара по клавише.

Для преодоления этого недостатка в Институте звукозаписи было испытано магнитное возбуждение язычка через зазор. Это устройство (рис. 39) в первоначальном виде предназначалось для компактных аппаратов позывных сигналов радиовещания и состояло из неподвижного основания *1*, на котором расположены регу-

лируемые как продольно, так и по интервалам между собой язычки *2*, закрепленные на колодках, диска *3*, на котором установлен постоянный магнит *4* с полюсными башмаками (для концентрации магнитного поля), и адаптеров *5*, регулируемых относительно язычков *2* и закрепленных на основании *1*.

Диск с магнитом, вращаясь с установленной скоростью, концами башмаков последовательно проходит на очень близком расстоянии перед концами язычков, не касаясь их. Концы язычков, попадая в сосредоточенное магнитное поле, увлекаются, а затем, отрываясь от магнитного поля, продолжают вибрировать, возбуждая в адаптерах э. д. с. той частоты, на которую настроены язычки.

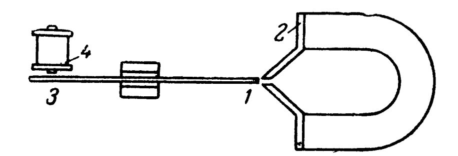


Рис. 40. Двойной язычковый вибратор.

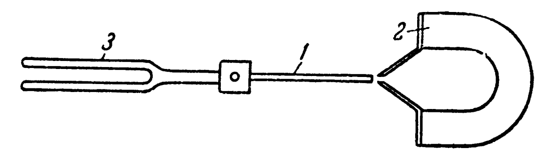


Рис. 41. Камертонно-язычковый вибратор.

Напряжение с адаптеров подается на вход усилителя. Число язычков, возбуждаемых в данный момент времени, может быть по желанию увеличено.

Испытание макета дало следующие результаты: 1) возбуждение язычков получается от диапазона инфразвуковых частот до 440 *гц*; 2) по мере прохождения адаптера перед язычком наблюдается небольшое изменение частоты (глиссандо).

Для устранения глиссандо можно применить двойной вибратор, состоящий из двух язычков, закрепленных на общем основании (рис. 40). Оба язычка, настроенные в резонанс или с расстройкой в несколько герц, состоят из одного куска стальной ленты. Язычок *1* возбуждается полем проходящего магнита *2*. Другой язычок *3* снабжен адаптером *4*, соединенным с усилителем.

Применение системы связанных вибраторов позволило устранить глиссандо. Кроме того, оказалось возможным осуществить октавное возбуждение язычка, снабженного адаптером.

Для получения длительных звуков было испытано устройство, показанное на рис. 41. В этом устройстве язычок *1* возбуждается проходящим полем магнита *2*, снабженного наконечниками. Колебания язычка передаются камертону *3*, к которому припаян язычок. Камертон может быть настроен как на основную частоту язычка,

так и на его негармонические обертоны, что дает возможность получения длительных звуков в верхнем регистре. Подобное устройство обеспечивает возможность получения мягкой атаки звука камертона при импульсном возбуждении (жесткой атаке) язычка.

Соединение магнитного возбуждения через зазор с клавишным управлением может, по нашему мнению, существенно повысить выразительность звучания инструментов с магнитным щипком.

Интересное решение вопроса о совмещении функций вибраторов с функциями адаптеров дано в одном из патентов США, где два язычка, слегка расстроенные один по отношению к другому, образуют пластины статического адаптера. Естественно, что в этом случае между язычками не должно быть электрического контакта.

Развитие адаптеризованных инструментов представляет большой интерес, с одной стороны, благодаря возможности усиления звука и записи без микрофона и, с другой стороны, благодаря возможности изменения тембра.

ЭЛЕКТРОННЫЕ МУЗЫКАЛЬНЫЕ СИНТЕЗАТОРЫ

На базе последних исследований в области акустики и электроники у нас и за рубежом был построен ряд электронных синтезаторов. Первый синтезатор «вариофон» был выполнен на недостаточно совершенной технической базе еще в 30-х годах этого столетия в Ленинграде. Автор вариофона Е. Шолпо начал с попыток создания так называемого рисованного звука. Наблюдая на звуковой дорожке киноленты различные формы кривых, от которых зависит состав воспроизводимых звуков, он пришел к мысли о том, что звук для кино может делаться путем своеобразной звуковой мультипликации. Однако первые опыты с рисованным звуком хотя и показали его осуществимость, но, вместе с тем, выявили исключительную трудоемкость работы по его созданию.

В дальнейшем Е. Шолпо перешел к разработке фотоэлектрического музыкального синтезатора. Основная цель этой работы состояла в том, чтобы дать композитору возможность монтировать музыку и передавать ее слушателю, не прибегая к помощи музыкантов-исполнителей. С помощью вариофона Е. Шолпо наглядно продемонстрировал, какие большие возможности открываются в области создания синтетической музыки. В последние годы жизни автор вариофона провел анализ исполнения ноктюрна Шопена выдающимися пианистами Сен-Сансом, Пюньо и Бузони и на этой базе дал имитацию обобщенного исполнения этого произведения на своем фотоэлектрическом аппарате.

В 1948—1949 гг. Институт звукозаписи проводил работу по конструированию магнитного синтезатора. На каждую из дорожек многодорожечного магнитофона записывался только один голос. Скорость движения ленты была при этом в 16 раз меньше стандартной (76 *см/сек*). Все записываемые частоты соответственно понижались на четыре октавы. Для формирования необходимых частот применялся специальный генератор с грифовым управлением. Естественно, что при этом моменты возникновения и затухания звука соответственно растягивались по времени, а частота вибрато

тоже бралась в 16 раз ниже оптимальной (6 *гц*). Такое замедление лишает, с одной стороны, музыку эмоциональной окраски, вкладываемой в нее исполнителем, но, с другой стороны, позволяет добиться звуковых эффектов, совершенно недоступных для самого виртуозного исполнителя. Эта работа была, к сожалению, прекращена при возникновении первых, почти неизбежных затруднений.

В дальнейшем появился новый, наиболее совершенный технически и чрезвычайно интересный в музыкальном отношении фотоэлектрический синтезатор АНС. Такое название дано в честь композитора Александра Николаевича Скрябина автором синтезатора Е. Мурзиным. Наиболее интересной особенностью этого синтезатора можно считать наличие в каждом полутоне шести звуков, что дает возможность крайне тонкого и точного изменения высоты звука.

За рубежом Олсон и Белар (США) выполнили очень сложный электронный синтезатор, в котором применены камертонные генераторы, устройства для изменения тембра, модуляторы для получения вибрато и другие современные электромузыкальные устройства. Авторы этого синтезатора очень удачно решили вопрос о получении глиссандо без нарушения стабильности генераторной основы. На этом электронном аппарате хорошо получилась имитация рояля, что, вообще говоря, сопряжено с большими трудностями.

За рубежом, в ряде стран при учебных заведениях и радиоцентрах созданы специальные студии электронной музыки. Такие студии есть в Колумбийском и Иллинойском университетах (США), в радиовещательных центрах Англии, ГДР, Франции, Италии и ряда других стран. В этих студиях для создания особых звуковых эффектов применяют различные генераторы, преобразователи частоты и формы колебаний, шумовые генераторы с полосовыми фильтрами и электромузыкальные инструменты (например, терменвокс и микстур-траутониум). Запись колебаний звуковой частоты производится без микрофона, так как при этом достигается более высококачественное звучание. Для создания акустической перспективы применяются ревербераторы (магнитные, пластинчатые и др.).

Запись обычно выполняется на многодорожечном магнитофоне, в котором, по крайней мере на одной дорожке, имеется независимая стирающая головка. Допустим, что студия использует восьмидорожечный магнитофон. Сначала на восьмую дорожку записывают ритмическую основу данного музыкального произведения и какую-то часть аккомпанемента. Если запись получилась удачно, то ее переписывают на первую дорожку и стирают с восьмой. Таким же путем производится заполнение всех других дорожек (от второй до седьмой включительно). В процессе перезаписи сигналов со всех дорожек на одну дорожку оказывается возможным широко варьировать соотношения уровней громкости, вводить в отдельные каналы искусственную реверберацию, сдвиг частот и др.

В практике записей джазовой музыки предпочитают не пользоваться ревербератором для групп басовых и ударных инструментов, включая его, главным образом, на мелодические голоса. В таких многодорожечных магнитофонах обычно оказывается доступным понижение скорости движения ленты в два или четыре раза, а это дает возможность записи гамм, арпеджио-трезвучий и других пассажей с такой скоростью, какая не может быть достигнута при исполнении на обычных музыкальных инструментах.

Таким образом, соединение многодорожечной записи с электромузыкальной аппаратурой создает условия для получения новых музыкальных эффектов, которые пока используются преимущественно в сфере музыки легкого жанра. Это вполне оправдано, потому что в серьезной музыке было бы неестественно и антихудожественно исполнять мелодию под заранее записанный аккомпанемент.

Несколько другой подход к применению звукозаписи для получения новых звуковых эффектов имеет место в работе французских изобретателей. Они берут записи натуральных шумов и звуков и меняют их высоту, изменяя скорость движения ленты. Это дает возможность, имея запись одного звука, смонтировать звучание законченной мелодии. Такой метод, названный «конкретной музыкой», пока что используется с наибольшим успехом не для музыки, а для шумового оформления кинофильмов и радиопостановок.

Рассмотренные здесь синтезаторы и другие электронные музыкальные аппараты оказываются довольно сложными и дорогими. Тем не менее и в этой области наши изобретатели и энтузиасты-радиолюбители бесспорно могут принести большую пользу, способствуя применению новейших средств электроники в музыке для кинофильмов, радио и телевидения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Научно-исследовательские и конструкторские работы в области электромузыки продолжаются. Так, например, основоположник электромузыкальных инструментов Л. С. Термен работает над рядом интересных тем.

Еще в 1938 г. он выдвинул очень интересную идею о трехмерном управлении свойствами звука на терменвоксе. Известно, что высота тона терменвокса зависит от движения кисти руки перед штыревой антенной в горизонтальном направлении (вперед — назад). Движением же руки вверх и вниз предлагалось изменять уровень громкости звука, а ее движением влево и вправо — тембр звучания. Такое управление может очень тонко передать в звуковых образах замыслы композитора.

Однако осуществление этой идеи — дело не простое. Ведь, перемещая кисть руки вверх и вниз для управления громкостью или вправо и влево для управления тембром, надо очень точно выполнять эти движения, чтобы не повлиять на высоту звука, которая должна изменяться только при перемещении кисти вперед и назад. А это очень трудно даже для немногих исполнителей на терменвоксе, хорошо владеющих этим инструментом.

Другой интересный вопрос, над которым работает Л. С. Термен, — увеличение количества звуков в октаве и исследование различных строев. Давно замечено, что, исполняя народные песни, вокалисты часто поют звуки, которых нет в точно настроенном рояле. Ф. И. Шаляпин, например, при исполнении «Эй, ухнем» пел интервал, не совпадающий ни с малой, ни с большой терцией, и это вполне соответствовало естественному строю русской народной песни. Если бы аккомпанемент исполнялся на рояле, настроенном в народном ладу, то общее звучание, вероятно, оказалось бы значительно богаче.

Для анализа народной песни и ее точного воспроизведения Л. С. Термен выполнил ряд приборов. Один из них позволяет настроить каждый звук двухоктавного клавишного инструмента в пределах ±50 центов (цент равен сотой доле полутона). Для каждой клавиши инструмента предусмотрена шкала настройки, градуированная в центах. А этого вполне достаточно, чтобы воспроизвести нужный строй по заранее выполненной расшифровке, где над каждой нотой ставится отклонение от стандарта.

Еще один интересный прибор среди выполненных Л. С. Терменом — терменвокс с гармоническим синтезом тембра, о котором мы уже упоминали (см. стр. 10 и 17). В настоящее время автор терменвокса применяет для формирования гармоник настроенные на их частоты колебательные контуры, соединенные с генераторами высоких частот. В итоге каждый такой генератор захватывается на частоте нужной гармоники. По сравнению с предыдущими подобными устройствами новая схема позволяет существенно улучшить отношение сигнала к помехе, что оказывает благоприятное влияние на качество звучания инструмента. В отличие от суррогатного гармонического синтеза тембра, использованного в электрооргáне Хаммонда (США) и в ионике (ГДР), высокочастотный синтез дает возможность получения точных значений частот гармоник (обертонов).

В акустической лаборатории Московской консерватории изучается ряд новых направлений в области электромузыки. К ним можно отнести, например, работу с новым датчиком ритма (Ритмиконом), управление свойствами инструментального звука с помощью голоса, автоматическую подстройку интервалов под точные значения натурального звукоряда, управление звуком с помощью биотоков и движения зрачка глаза, а также повышение выразительности звучания путем освобождения музыканта-исполнителя от физической нагрузки при извлечении звука. Читателям, интересующимся этими работами, рекомендуем прочесть брошюру Л. С. Термена «Физика и музыкальное искусство», издательство «Знание», 1966.

Плодотворно работает в области электромузыки и один из ее зачинателей А. А. Володин. Разработанный им одноголосный электромузыкальный инструмент В-9 применяется в театрах и киностудиях. Диапазон этого инструмента охватывает звуки от «до» контроктавы до «соль» четвертой октавы при непрерывном диапазоне в 3,5 октавы. Для управления высотой тона можно пользоваться как грифом, так и клавиатурой. Тембры инструмента очень разнообразны. Предусмотрено управление временем атаки и затухания звука. Мощность звуковоспроизводящей установки составляет 8 *вт*, что обеспечивает достаточную громкость звучания в концертных залах. За разработку этого инструмента ее автору была присуждена золотая медаль на Всемирной выставке в Брюсселе.

В 1959 г. Мосгорсовнархоз выпустил двухголосную модель экводина (В-10), разработанную А. А. Володиным. В этом инструменте введено независимое управление тембром каждого голоса, а также сдваивание голосов в унисон, октаву и две октавы. При этом удалось получить интересные тембры с различными характеристиками атаки и затухания в верхнем и нижнем голосе.

Последняя модель экводина (В-11) представляет собой одноголосный клавишный инструмент, в котором А. А. Володину удалось решить вопрос о плавном глиссандо и пальцевом вибрато при игре на клавиатуре. «Запоминание» высоты звука при отпускании клави-

ши в экводине помогает музыканту играть более свободно и выразительно, а автоматическая коррекция тембра в нем позволяет выровнять звучание по диапазону.

Большой интерес представляет проводимая А. А. Володиным разработка схем управления нестационарными процессами — атакой звука и его затуханием. Известно, что при возникновении звука на скрипке сперва появляются высокие обертоны, а затем основной тон и более низкие обертоны. При коротких звуках изменение характера атаки может сделать тембр неузнаваемым. Если в электромузыкальном инструменте сформировать тембр гобоя (с формантой 1 *кгц*), то, придавая ему жесткую атаку звука и быстрое затухание, можно получить звучание, напоминающее клавесин. В настояще время автор экводина работает над двухголосной моделью инструмента и продолжает исследование в области построения электронного фортепиано.

Среди промышленных отечественных образцов многоголосных электромузыкальных инструментов можно отметить инструмент «Юность», применяемый ансамблем электромузыкальных инструментов Всесоюзного радио под управлением В. Мещерина.

Большой интерес у слушателей вызывает игра А. Беляева на электробаяне. Этот уникальный инструмент, изготовленный за рубежом, отличается большим разнообразием тембров. По существу такой инструмент представляет собой сочетание электробаяна с электроорга́ном. Благодаря этому исполнитель может выполнять как плавную нюансировку (с помощью правой педали), так и акценты (при резком движении меха).

Большое внимание изобретателей привлекает область соединения игры цвета и света с музыкой. Такая идея была в свое время высказана А. Н. Скрябиным, который вписал в партитуру «Прометея» строчку для световых эффектов. Однако техника того времени не дала Скрябину возможности реализовать свой замысел.

Сравнительно недавно инж. К. Л. Леонтьев провел работу в области автоматического управления светом и цветом при помощи источника звуковой частоты. В дальнейшем появились тенденции к соединению автоматического управления с ручным. Будет ли игра света и цвета помогать слушать музыку или помешает ее восприятию — это вопрос будущего. Нам кажется, что область применения световых и цветовых эффектов в музыкальном искусстве пока еще очень ограниченна. Нужен очень большой талант, чтобы такое искусство стало убедительным.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Цена 14 коп.